

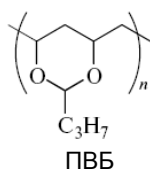
ФОТОВОЛЬТАІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛІВКОВОГО КОМПЗИТУ НА ОСНОВІ ПОЛІВІНІЛБУТИРАЛЮ ТА ГЕТЕРОМЕТАЛІЧНОГО КОМПЛЕКСУ $\text{Cu}^{\text{II}}/\text{Ca}$

Отримано новий фоточутливий полімерний плівковий композит (ППК) на основі нефотопровідного полівінілбутиралю, що містять гетерометалічний комплекс $[\text{Ca}\{\text{Cu}(\text{HL})_2\}_2(\text{SCN})_2$ (H_2L – продукт конденсації 3-метоксисалицилового альдегіду та моноетаноламіну). Методом вимірювання потенціалу поверхні за допомогою динамічного зонду досліджено його фотоелектричні властивості. Виявлено, що одержаний композит проявляє фотovoltaїчні властивості при опроміненні в області поглинання комплексу. Максимальна величина електричного потенціалу вільної поверхні ППК при опроміненні світлом білого світлодіода при $I = 60 \text{ Вт/м}^2$ становить близько 60 мВ. При цьому потенціал вільної поверхні ППК стає позитивним по відношенню до потенціалу його опромінюваної поверхні. Зроблено висновок про фотодифузійну природу виявленого фотovoltaїчного ефекту та дірковий характер фотопровідності в такому композиті. Дифузія носіїв заряду може бути викликана виникненням градієнта концентрації рухливих носіїв заряду, яких більше поблизу опромінюваного електроду. Дірковий характер фотопровідності забезпечується більш рухливими позитивно зарядженими носіями (дірками). Обговорено механізм і особливості фотovoltaїчного ефекту в дослідженому плівковому композиті. Отриманий ППК може бути використаний при розробці нових фотovoltaїчних середовищ та реєструючих середовищ для оптичного запису інформації.

Ключові слова: полімерні плівкові композити, гетерометалічні комплекси, фотovoltaїчний ефект, фотогенерація, захоплення носіїв заряду.

Вступ. При створенні фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії використовуються одно- і багатошарові, а також гібридні гетероструктури на основі органічних і неорганічних матеріалів [1–7]. Серед останніх великий інтерес представляють матеріали на основі гетерометалічних комплексів [6, 7]. Центрами поглинання світла і фотогенерації носіїв електричного заряду в таких комплексах можуть виступати заряджені металічні центри [6, 7], які здатні при фотозбудженні як приймати, так і віддавати електрон при взаємодії з сусідніми донорами або акцепторами [1, 6, 7]. Транспорт нерівноважних носіїв заряду в таких системах може здійснюватися в часточках комплексів шляхом їх перезарядки [6–8]. Крім того, плівки полімерних композитів (ППК) з гетерометалічними комплексами, становлять інтерес при розробці нових фотovoltaїчних середовищ, а також матеріалів для різноманітних застосувань молекулярної електроніки та фотоніки, оскільки можуть проявляти фотонапівпровідникові та магнітні властивості [6–8]. Продовжуючи вивчати вплив гетерометалічних комплексів на фотоелектричні властивості полімерних композитів ми дослідили фотovoltaїчні властивості ППК на основі полівінілбутиралю і комплексу $[\text{Ca}\{\text{Cu}(\text{HL})_2\}_2(\text{SCN})_2$ (**1**).

Об'єкти і методи досліджень. Для приготування ППК використовували нефотопровідний полівінілбутираль (ПВБ), який характеризується хорошими плівкоутворюючими, діелектричними та оптичними властивостями, а також



гетерометалічний комплекс **1**.

Зразки готували у вигляді структур з вільною поверхнею ППК: скляна підкладка – ППК, або скляна підкладка – ІТО – ППК (ІТО – електропровідний прозорий шар $\text{SnO}_2:\text{In}_2\text{O}_3$). Концентрація комплексу в ППК становила 33 мас. %. ППК отримували шляхом поливу на скляні підкладки (без, або з шаром ІТО) розчинів у хлористому метилени полімеру без домішок, або полімеру з домішками комплексу **1** з подальшим висушуванням при 80°C в термо-

шафі протягом двох діб. Товщину ППК вимірювали за допомогою інтерференційного мікроскопа МІІІ-4. Товщина висушених ППК становила $\approx 2,0\text{--}2,2$ мкм. На рис. 1 показана фотографія ділянки поверхні плівки на основі гетерометалічного комплексу **1**, в об'ємі якої сформовані полікристалічні частки комплексу **1** зеленого кольору.

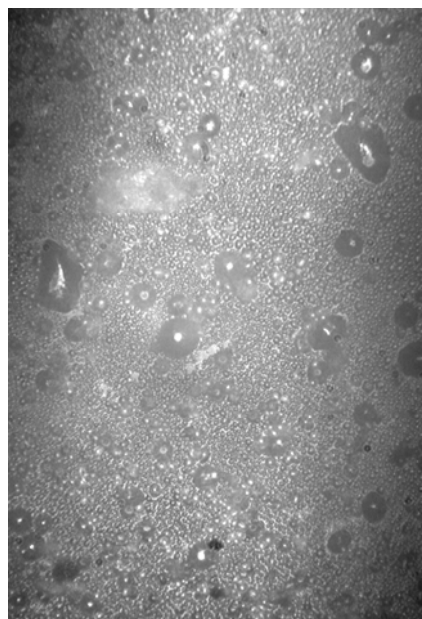


Рис. 1. Фотографія ділянки поверхні (180×260 мкм) плівки ПВБ + 33 мас. % комплексу **1**

У приготовлених зразках вимірювали: спектри оптичної густини (D) плівок ППК; величину електричного потенціалу вільної поверхні ППК відносно електроду ІТО (V_{PH}) до опромінення світлом та його зміну під час (t) опромінення з боку прозорого електропровідного шару ІТО, а також після вимкнення світла. Для визначення фотovoltaїчних характеристик у зразках з вільною поверхнею скляна підкладка – ІТО – плівка ППК застосовували метод вимірювання потенціалу поверхні за допомогою динамічного зонда (модифікований метод Кельвіна [9–10]). Вибір такої методики обумовлений тим, що в цьому випадку немає впливу контактної різниці потенціалів, яка виникає в зразках сендвіч-

структури з електродами з різних матеріалів, на фотопроцеси в ППК. Як зонд використовували алюмінієву пластину діаметром 4 мм. Частота коливань зонда становила 4 кГц. Кінетику зміни V_{PH} в зразках з вільною поверхнею ППК реєстрували за допомогою USB-осцилографу VM8020. Для опромінення зразків використовували білий напівпровідниковий світлодіод, інтенсивність (I) випромінювання якого змінювали в діапазоні 15–60 Вт/м². При дослідженні характеристик фотовольтаїчного відгуку V_{PH} в зразках з вільною поверхнею ППК методом Кельвіна опромінення здійснювали в активну область зонда з боку скляної підкладки та прозорого ІТО-електроду [10]. Всі вимірювання проведені при температурі 20°C.

Результати та їх обговорення. У видимій області спектру плівки ПВБ прозорі і не проявляють фотовольтаїчних властивостей. Нормований спектр поглинання у видимій ділянці світла для зразка плівки ПВБ + 33 мас. % комплексу **1** представлено на рис. 2. У зразках скляна підкладка-ІТО-ПВБ + 33 мас. % комплексу **1** виявлений фотовольтаїчний ефект в області поглинання комплексу. На рис. 3 наведено графік залежності величини фотовольтаїчного відгуку V_{PH} від часу t опромінення зразка з вільною поверхнею ППК та після вимкнення світла. Максимальна величина V_{PH} поверхні ППК у зразках при опроміненні світлом білого світлодіода при $I = 60$ Вт/м² становить близько 60 мВ. При цьому вільна поверхня ППК має позитивний знак поверхневого заряду.

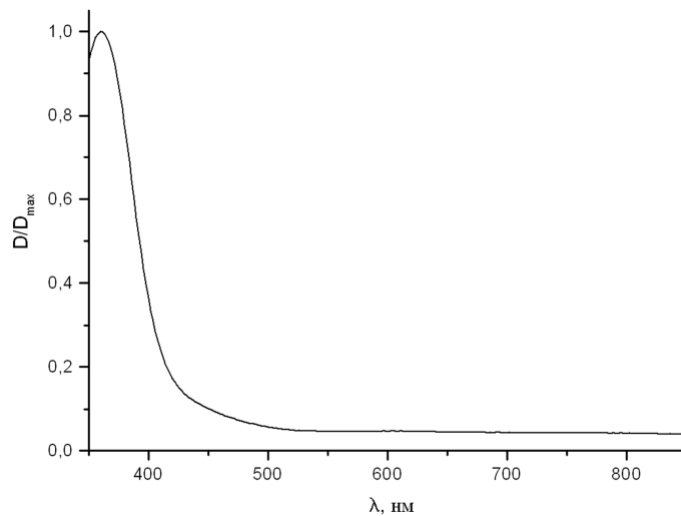


Рис. 2. Нормований спектр оптичного поглинання плівки ПВБ + 33 мас. % комплексу **1**

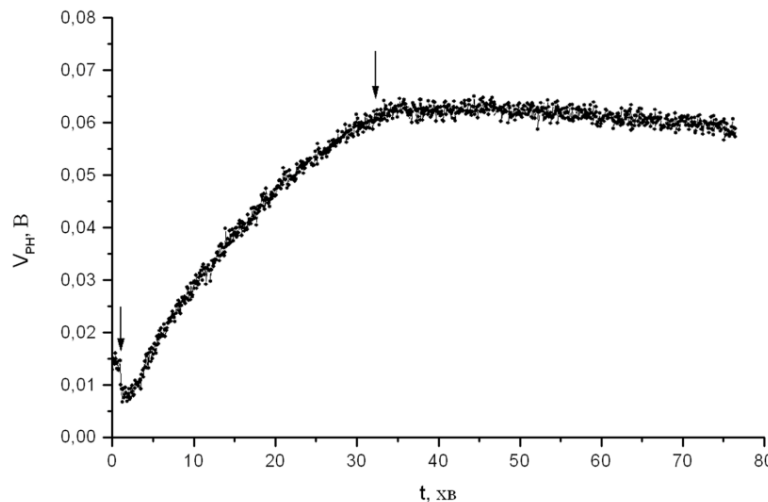


Рис. 3. Графік залежності $V_{PH}(t)$ в зразку з вільною поверхнею ППК ПВБ + 33 мас. % комплексу **1** при його опроміненні світлом білого світлодіода ($I = 60$ Вт/м²) з боку прозорого ІТО-електроду. Момент початку опромінення відповідає часу $t = 1$ с., моменти початку опромінення та вимкнення опромінення позначені вертикальними стрілками

Для з'ясування причин виникнення фотовольтаїчного ефекту, а також його особливостей в досліджуваних ППК скористаємося модельними уявленнями про фотогенерацію, транспорт та рекомбінацію носіїв заряду в невпорядкованих органічних матеріалах [11–16]. Після збудження світлом комплексу **1** внаслідок внутрішнього фотоэффекту в ППК можуть утворюватися електронно-діркові пари (ЕДП), в результаті дисоціації яких з'являються вільні нерівноважні носії заряду. В результаті дифузії або під впливом зовнішнього електричного поля

ці носії заряду можуть рухатися, наприклад, здійснюючи переходи між сусідніми металічними центрами, або між сусідніми часточками в полімерному зв'язуючому (рис. 1), забезпечуючи таким чином фотопровідність ППК. З дисоціацією ЕДП можуть конкурувати процеси рекомбінації і захоплення фотогенерованих носіїв заряду на енергетичні пастки [11–15].

В проведених експериментах зразки з вільною поверхнею ППК досліджувались в умовах практично нульових внутрішніх електричних полів у об'ємі плівкового

композиту. Поява позитивного електричного заряду на вільній поверхні ППК при опроміненні світлом, вірогідно, пов'язана з дифузійною фотогенерованих нерівноважних носіїв заряду в напрямку від опромінюваного контакту ІТО до вільної поверхні ППК. З огляду на це можна припустити, що виявлений фотовольтаїчний ефект має фотодифузійну природу [17–19]. Дифузія носіїв заряду може бути викликана виникненням градієнта концентрації рухливих носіїв заряду, яких більше поблизу опромінюваного електроду (у даному випадку – ІТО). Такий дифузійний механізм виникнення фотовольтаїчного ефекту (ефект Дембера) характерний для фотонапівпровідникових матеріалів, у яких різномірні носії заряду (електрони і дірки), що утворюються при опроміненні, мають різні рухливості [17–19]. У цьому випадку фото-е.р.с. виникає внаслідок градієнту концентрації надлишкових носіїв заряду, який з'являється через неоднорідне поглинання світла в сильнопоглинаючих напівпровідникових плівках. У досліджених ППК в результаті дисоціації ЕДП, фотогенерованих при опроміненні поблизу контакту ІТО, електрони або дірки дифундують в область півки ППК з меншою концентрацією ЕДП. Як свідчить попередній досвід, у більшості випадків знак фотопотенціалу V_{PH} менш освітленої вільної поверхні ППК (по відношенню до потенціалу опромінюваної поверхні зразка) відповідає знаку найбільш рухливих носіїв заряду в цих ППК [17–18, 20]. Останнє означає, що в досліджених нами зразках більш рухливими є позитивно заряджені носії – дірки, тобто отримані ППК характеризуються дірковим типом провідності. Як можна бачити з рис. 3, до основної позитивної складової фотовольтаїчного відгуку у зразках досліджуваних ППК примішується також інша – швидка негативна (по відношенню до потенціалу ІТО-електроду) компонента фотовідгуку, яка характеризується значно меншою амплітудою, і може бути обумовлена частковою участю інших механізмів формування фотовідгуку, таких, наприклад, як бар'єрний (в приелектродній області) [3, 17, 19]. Але, значно більший позитивний потенціал поверхні ППК при тривалому опроміненні вказує на те, що дифузійний механізм утворення фото-е.р.с. в досліджуваних зразках є основним.

Оскільки сам ПБВ є діелектриком, прозорим і нефотопровідним у видимій області, то можна зробити висновок, що процеси фотозбудження, фотогенерації і транспорту нерівноважних носіїв заряду, відповідальні за прояв фотовольтаїчних властивостей у досліджуваних ППК, мають відбуватися виключно всередині частинки комплексу та між ними.

Доволі повільна кінетика фотовольтаїчного відгуку $V_{PH}(t)$ може бути пов'язана з низькою рухливістю носіїв заряду в частинках комплексу і між ними, а також із захопленням фотогенерованих носіїв на глибокі енергетичні пастки тієї чи іншої природи, які присутні в ППК. На останнє вказує різко асиметричний характер кінетики $V_{PH}(t)$ після початку фотоопромінення та після його припинення [12, 15, 17, 21] (рис. 3), а саме – значно повільніша релаксація V_{PH} в порівнянні з ростом. Оскільки досліджуваний ППК характеризується дірковим типом фотопровідності, то можна вважати, що уповільнений характер кінетики фотовольтаїчного відгуку в зразках з вільною поверхнею ППК визначається захопленням нерівноважних дірок. Внаслідок того, що між окремими частинками комплексу знаходиться зв'язуюче ПБВ з діелектричними властивостями, носії заряду, що утворюються в об'ємі частинки, досягають її межі і для подальшого пересування повинні подолати відстань до

сусідньої частинки. Враховуючи вкрай низьку електропровідність чистого ПБВ можна припустити, що пастки для рухливих носіїв заряду, які ускладнюють транспорт заряду в ППК, можуть виникати, зокрема, на межах частинки комплексу, розділених полімерним зв'язуючим з діелектричними властивостями в об'ємі ППК.

Висновки. Одержано новий фоточутливий ППК на основі ПБВ, що містять гетерометалічний комплекс **1**, та досліджено його фотовольтаїчні властивості. Встановлено, що такий ППК проявляє фотовольтаїчний ефект. Зроблено висновок про фотодифузійну природу виявленого фотовольтаїчного ефекту і про дірковий характер фотопровідності в такому композиті. Повільний характер кінетики фотовольтаїчного відгуку визначається низькою рухливістю фотогенерованих носіїв заряду в ППК, а також суттєвим впливом процесів захоплення рухомих носіїв заряду на енергетичні пастки. Отриманий ППК може бути використано при розробці нових фотовольтаїчних середовищ. Крім того, враховуючи значні часи наростання і особливо релаксації фотовольтаїчного відгуку, пов'язані з малою рухливістю і суттєвою роллю процесів захоплення фотогенерованих носіїв заряду в композиті, результатом чого є поява довготривалої пам'яті на попереднє опромінення півки, можливе використання одержаного ППК і як реєструючого середовища для оптичного запису інформації.

Список використаних джерел

- Allen N.S. (Ed.) Photochemistry and Photophysics of Polymeric Materials. Wiley, 2010. 690 p.
- Hains A.W., Liang Z., Woodhouse M.A., Gregg B.A. Chemical Reviews, 2010, 11, 6689–6735.
- Mertens K. Photovoltaics. Fundamentals. Technology and Practice. Wiley, 2014. 294 p.
- Davidenko N.A., Ishchenko A.A., Korotchenkov O.A., Mokrinskaya E.V., Podolian A.O., Studzinsky S.L., and Tonkopiya L.S. Technical Physics Letters, 2012, 10, 928–931.
- Nichiporuk O., Kaminski A., Lemiti M., Fave A., Litvinenko S., Skryshevsky V. Thin Solid Films, 2006, 511-512, 248–251.
- Lei Li, Shu-Yun Niu, Jing Jin, Qin Meng, Yu-Xian Chi, Yong-Heng Xing, Guang-Ning Zhang. J. Solid State Chem., 2011, 5, 1279–1285.
- Davidenko N.A., Kokozay V.N., Davidenko I.I., Studzinskii S.L., Petrusenko S.R., Stetsyuk O.M. High Energy. Chem., 2014, 4, 266–268.
- Davidenko N.A., Davidenko I.I., Derevyanko N.A., Ishchenko A.A., Kostenko L.I., Mokrinskaya E.V., Studzinskii S.L., Tonkopiya L.S., Chuprina N.G. High Energy. Chem., 2011, 3, 240–244.
- Blythe T., Bloor D. Electrical Properties of Polymers. UK, Cambridge: CUP, 2008, 496 p.
- Studzinsky S.L. Mol. Cryst. Liq. Cryst., 2014, 589, 183–194.
- Кувшинский Н.Г., Давиденко Н.А., Комко В.М. Физика аморфных молекулярных полупроводников. Киев: Лыбидь, 1994, 176 с.
- Kuvshinskij N.G., Davidenko N.A., Komko V.M. Physics of amorphous molecular semiconductors. Kiev: Lybid', 1994. 176 p. (in Russian).
- Brutting W. (Ed.) Physics of Organic Semiconductors. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2012. 657 p.
- Balzani V. (Ed.) Electron Transfer in Chemistry, 5 Volume Set. Weinheim, New York: Wiley-VCH, 2001. 3992 p.
- Roundhill D.M. Photochemistry and Photophysics of Metal Complexes. USA, Springer, 2013. 372 p.
- Pope M. and Swenberg C.E. Electronic Processes in Organic Crystals and Polymers. Oxford, Oxford University Press, 1999. 1328 p.
- Davidenko N.A., Dekhtyarenko S.V., Kokozay V.N., Kozinetz A.V., Nesterova O.V., Skryshevsky V.A., Studzinskii S.L., Tretyak O.V., Chigorin E.N. Phys. Solid State, 2010, 6, 1303–1307.
- Рывкин С.М. Фотозлектрические явления в полупроводниках. М.: Физматгиз, 1963, 496 с.
- Ryvkin S.M. The photo-electric phenomena in semiconductors. Moscow, Fizmatgiz, 1963, 496 p. (in Russian).
- Gurevich Yu.G., Meriuts A.V. Phys. Lett. A, 2013, 38, 2673–2675.
- Nabiyev G.A. Semiconductors, 2009, 7, 892–893.
- Непорент Б.С. (отв. ред.) Элементарные фотопроцессы в молекулах. М.-Л.: Наука, 1966, 454 с.
- Neporent B.S. (Ed.) Elementary photoprocess in molecules. Moscow-Leningrad, Nauka, 1966, 454 p. (in Russian).
- Bube R.H. Photoconductivity of Solids. New-York, London, USA: John Wiley & Sons, 1960. 476 p.

Надійшла до редколегії 23.04.15

Н. Давиденко, д-р физ.-мат. наук, В. Козозей, д-р хим. наук, kokozay@univ.kiev.ua,
С. Студзинский, канд. хим. наук, С. Петрусенко, канд. хим. наук, Н. Плюта, студ.
КНУ имени Тараса Шевченка, Киев

ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОЧНОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛБУТИРАЛЯ И ГЕТЕРОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА $\text{Cu}^{\text{II}}/\text{Ca}$

Получен новый фоточувствительный полимерный пленочный композит (ППК) на основе нефотопроводящего поливинилбутираля, содержащий гетерометаллический комплекс $[\text{Ca}\{\text{Cu}(\text{HL})_2\}_2(\text{SCN})_2]$ (H_2L – продукт конденсации 3-метоксисалицилового альдегида и моноэтанолamina). Методом измерения потенциала поверхности с помощью динамического зонда исследованы его фотоэлектрические свойства. Обнаружено, что полученный композит проявляет фотовольтаические свойства при облучении в области поглощения комплекса. Максимальная величина электрического потенциала свободной поверхности ППК при облучении светом белого светодиода при $I = 60 \text{ Вт/м}^2$ составляет около 60 мВ. При этом потенциал свободной поверхности становится положительным по отношению к потенциалу его облучаемой поверхности. Сделано вывод о фотодиффузионной природе обнаруженного фотовольтаического эффекта и дырочном характере фотопроводимости в таком ППК. Диффузия носителей заряда может быть вызвана возникновением градиента концентрации подвижных носителей заряда, которых больше вблизи облучаемого электрода. Дырочный характер фотопроводимости обеспечивается более подвижными позитивно заряженными носителями (дырками). Обсуждены механизм и особенности фотовольтаического эффекта в исследованном пленочном композите. Полученный ППК может быть использован при разработке фотовольтаических сред и регистрирующих сред для оптической записи информации.

Ключевые слова: полимерные пленочные композиты, гетерометаллические комплексы, фотовольтаический эффект, фотогенерация, захват носителей заряда.

N. Davidenko, Dr. Sci., V. Kozozay, Dr. Sci., kokozay@univ.kiev.ua,
S. Studzinsky, PhD, S. Petrusenko, PhD, N. Plyuta, stud.
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

PHOTOVOLTAIC PROPERTIES OF FILM COMPOSITE BASED ON POLYVINYL BUTYRAL AND HETEROMETALLIC $\text{Cu}^{\text{II}}/\text{Ca}$ COMPLEX

The novel photosensitive polymeric film composite (PFC) based on non-photoconducting polyvinyl butyral with heterometallic complex $[\text{Ca}\{\text{Cu}(\text{HL})_2\}_2(\text{SCN})_2]$ (H_2L – a condensation product of 3-methoxysalicylaldehyde and monoethanolamine) has been prepared. Its photoelectric properties have been investigated by the dynamic probe (Kelvin probe) method of surface potential measurement. It was shown, that the obtained composite exhibits photovoltaic properties under illumination by light from the complex absorption region. The maximal electric potential value of the PFC free surface under sample illumination by white light-emitting diode irradiation ($I = 60 \text{ W/m}^2$) is nearly 60 mV. In the same conditions the potential of the non-illuminated free surface of PFC becomes positive with respect to illuminated PFC surface. The photodiffusion nature of the observed photovoltaic effect as well as the p-type (hole-type) photoconductivity character of such composites were established. The charge carriers diffusion is caused by the concentration gradient of the mobile charge carriers, which amount is larger in the proximity of the illuminated electrode. The hole-type character of photoconductivity is provided by the more mobile positive charged carriers (holes). The mechanism and features of the photovoltaic effect in the investigated film composite are discussed. The obtained PFC can be used in the development of novel photovoltaic media and registering media for optical information recording.

Keywords: polymer film composites, heterometallic complexes, photovoltaic effect, photogeneration, charge carriers trapping.

УДК 546.98+547.792+543.429.23

Б. Захарченко, студ.,
Д. Хоменко, канд. хим. наук,
Р. Дорошук, канд. хим. наук,
Р. Лампека, д-р хим. наук, roslamp@gmail.com
КНУ імені Тараса Шевченка, Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ БУДОВИ КОМПЛЕКСУ ПАЛАДІЮ(II) НА ОСНОВІ 3-(2-ПІРИДИЛ)-5-ЦИКЛОПРОПІЛ-1,2,4-ТРИАЗОЛУ

Синтезовано новий ліганд 3-(2-піридил)-5-циклопропіл-1,2,4-триазол (HL) та комплекс паладію(II) складу $\text{Pd}(\text{HL})\text{Cl}_2$ на його основі. Молекулярна та кристалічна будова комплексу була встановлена методом РСтА. Будову отриманого комплексу в розчині було досліджено за допомогою електронної, ІЧ- та ЯМР-спектроскопії.

Ключові слова: 1,2,4-триазол, ЯМР-спектроскопія, паладій.

Вступ. Дослідженню триазолвмісних сполук присвячено значна кількість статей і оглядів [1–5]. Використання лігандних систем на основі 1,2,4-триазолу викликає значний інтерес з точки зору координаційної хімії, оскільки шляхом відносно простих хімічних перетворень можна варіювати замісники в будь-якому положенні азолу. Наявність у самому циклі 1,2,4-триазолу трьох донорних центрів створює додаткові передумови для цілеспрямованого синтезу комплексів з бажаною будовою та властивостями. Крім того депротонування триазольного кільця дає змогу ліганду виступати в якості зарядженого бідентатного, або навіть тридентатного ліганду, що підвищує стабільність координаційних сполук, що утворюються.

1,2,4-Триазолвмісні координаційні сполуки паладію(II) проявляють цікаві фотохімічні та фотофізичні властивості, можливе також їх використання як катализаторів різних хімічних реакцій [6–8].

В даній роботі описано синтез, результати досліджень будови та спектральних властивостей комплексу складу $\text{Pd}(\text{HL})\text{Cl}_2$, де HL – 3-(2-піридил)-5-циклопропіл-1,2,4-триазол. Ліганд такого класу здатен до хелатоут-

ворення, що сприяє підвищенню стійкості відповідних комплексів [9–11].

Об'єкти і методи досліджень. 3-(2-піридил)-5-циклопропіл-1,2,4-триазол. В 100 мл метилового спирту розчиняють 15,52 г (0,115 моль) гідрохлориду імідоестеру циклопропанкарбонОВОЇ кислоти (2), додають при перемішуванні еквімолярну кількість триетиламіну. До отриманого розчину додають 13,6 г (0,1 моль) гідразиду піколінової кислоти (1) та кип'ятять зі зворотнім холодильником протягом 5 год. Практично відразу після розчинення всієї кількості гідразиду спостерігається утворення осаду білого кольору, що є продуктом ацилювання гідразиду піколінової кислоти імідоестером (3). Осад відфільтровують, промивають метиловим спиртом та сушать на повітрі. Отриманий адукт розплавляють. Плав представляє собою чистий продукт (4) масою $m = 17,8 \text{ г}$, вихід 87%. Теоретично розраховано для $\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{N}_4$, % : С, 64,50; Н, 5,41; N, 30,09. Знайдено, %: С, 64,62; Н, 5,38; N, 30,01.

Синтез $\text{Pd}(\text{HL})\text{Cl}_2$. Розчин ліганду HL (0,186 г, 1 ммоль) в 5 мл CH_3CN приливають до розчину