

ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ Pr^{3+} - ВМІСНИХ СКЛАДНИХ ОКСИДІВ ДЛЯ РОЗРОБКИ ФІТО-СВІТЛОДІОДІВ

В. В. Бойко, кандидат фізико-математичних наук, доцент

E-mail: boyko_v@nubip.edu.ua

В. П. Чорній, кандидат фізико-математичних наук, старший викладач

E-mail: vchornii@gmail.com, vchornii@nubip.edu.ua

Національний університет біоресурсів та природокористування України

**С. Г. Неділько, доктор фізико-математичних наук, старший науковий
співробітник**

М.С. Слободяник, доктор хімічних наук, професор

К. В. Тереміленко, доктор хімічних наук, доцент

В.П. Щербацький, провідний інженер

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Анотація. Рослини в теплицях та оранжереях вирощують в умовах світлокультури, тобто коли освітлення є повністю або частково штучним. З цією метою використовують різноманітні лампи – ксенонові, натрієві: високого або низького тиску, ртутні, світлодіодні, тощо. Нещодавні дослідження показали, що світлодіодні лампи здатні досягти на 60 % кращої енергоефективності при освітленні теплиць, ніж широкоживані натрієві лампи. Покращена ефективність світлодіодних ламп (фітоламп) пов'язана зі співпадінням їх смуг випромінювання зі спектрами фотосинтетичної активної радіації. Найпростіші фітолампи є пристоями, що складаються з кількох окремих світлодіодів синього і червоного світла (фіто-світлодіодів). Суттєвим недоліком червоних світлодіодів, які створені на основі напівпровідникових структур, є їх вартість, яка значно більша, ніж для синіх фіто-світлодіодів. Одним із способів зменшення ціни червоних світлодіодів може бути їх виробництво на основі напівпровідникової структури (чипу) InGaN синього кольору випромінювання, на яку нанесено покриття - шар неорганічного люмінофору. Люмінофори з червоним свіченням можуть бути створені на основі оксидних матеріалів легованих іонами перехідних або рідкісноземельних металів, наприклад Pr^{3+} . Перевагою празеодиму над іонами перехідних елементів є те, що основні смуги поглинання іонів Pr^{3+} у видимій області світла лежать у діапазоні 430 – 490 нм, тобто там де випромінюють сині світлодіоди. При цьому, положення смуг поглинання слабо залежать від типу кристалічної або скляної матриці. У цій роботі розглянуто люмінесцентні покриття на основі легованих іонами Pr^{3+} кристалів $\text{KBi}(\text{MoO}_4)_2$ та

$K_2Bi(PO_4)(MoO_4)$. Нанесення покриття на світлодіод здійснювалося за допомогою полімеру – ціанокрилатного клею. З'ясовано, що застосований полімер слабо поглинає випромінювання світлодіода та не виявляє суттєвої люмінесценції в видимій області при збудженні на 446 нм. Виявлено, що для покриття на основі $K_2Bi_{0.99}Pr_{0.01}(PO_4)(MoO_4)$ люмінесценція оксиду, за положенням смуг, відповідає певною мірою червоній смузі поглинання хлорофілу *б* та смугам поглинання хлорофілу *а* в діапазоні 590 – 620 нм. Однак ефективність перетворення синього світла в червоне для цього покриття є невисокою. Кращих результатів можна досягти при застосуванні оксиду $KBi_{0.9}Pr_{0.1}(MoO_4)_2$, смуги свічення якого гарно корелюють із смугами поглинання хлорофілів. Ефективність досліджених люмінесцентних покриттів для фіто-світлодіодів можна підвищити шляхом зміни вмісту празеодиму в оксиді $KBi_{1-x}Pr_x(MoO_4)_2$ та оптимізацією методу нанесення покриття.

Ключові слова: бісмут, молібдат, празеодим, світлодіод, фосфат, фотолюмінесценція, хлорофіл

Актуальність. Рослини в теплицях та оранжереях вирощують в умовах світлокультури, тобто коли освітлення є повністю або частково штучним. З цією метою використовують різноманітні лампи – ксенонові, натрієві високого або низького тиску, ртутні, світлодіодні, тощо. Ефективність джерела штучного освітлення/до-освітлення в спорудах закритого ґрунту визначається узгодженням спектра випромінювання лампи із спектром фотосинтетичної активної радіації (ФАР). Спектр ФАР – це фактично залежність ефективності фотосинтезу від довжини хвилі світла, яке поглинається рослиною: переважно молекулами хлорофілів типу *а* та *б* (рис. 1). Решта поглинання забезпечується молекулами каротинів.

Стосовно джерел світла, то найбільш широкоживаними нині є натрієві лампи високого тиску. Однак, нещодавні дослідження показали, що світлодіодні лампи здатні досягти на 60 % кращої енергоефективності при освітленні теплиць, ніж натрієві лампи [1]. Обумовлено це тим, що в натрієвих лампах високого тиску основні смуги випромінювання лежать в області 530 - 630 нм, що припадає на ділянку низької ефективності фотосинтезу, тоді як смуги випромінювання світлодіодних, так званих фітоламп, відповідають ділянкам високих значень спектрів ФАР (рис. 1).

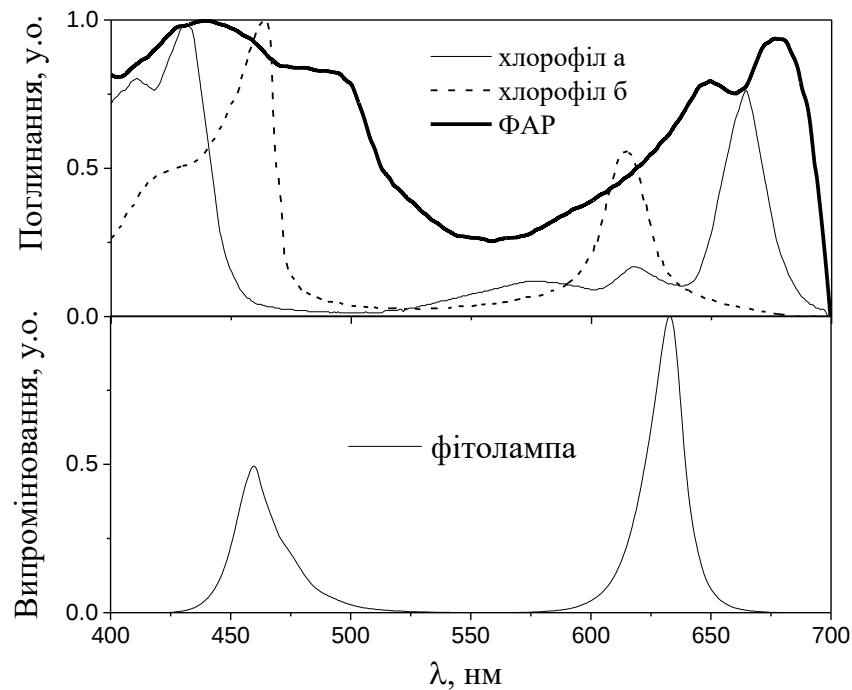


Рис. 1. Спектри поглинання хлорофілів та ФАР (зверху) та спектр випромінювання фітолампи (знизу)

Як видно з цього рисунку, у випадку використання комерційної фітолампи для опромінення кімнатних рослин смуга її випромінювання в синій області ($\lambda \approx 460$ нм) корелює зі смугою поглинання хлорофілу **б**, у той час як смуга в червоній області ($\lambda \approx 630$ нм) потрапляє в область слабого поглинання як хлорофілу **а**, так і хлорофілу **б**. Очевидно, що збільшення енергоефективності лампи можна здійснити шляхом зміщення «червоної» смуги її випромінювання в напрямку до 615 нм, або ж, - до 660 нм. Якщо згадати будову найпростіших фітоламп, то це пристрій, що поєднує кілька світлодіодів синього і червоного випромінювання (фіто-світлодіодів). При цьому, з погляду фотосинтезу, енергоефективність синіх світлодіодів сягає 93 %, а червоних – до 81 % за умови, що вони випромінюють на 660 нм [1]. Недоліком червоних світлодіодів, які створені на основі напівпровідникових структур, є їх вартість, яка для готового пристрою майже на 50 % більша, ніж для синіх фіто-світлодіодів. Одним із способів зменшення ціни червоних світлодіодів може бути їх створення на основі напівпровідникової структури (чипу) InGaN з синім кольором випромінювання, на яку нанесено шар неорганічного люмінофору. Функція люмінофору полягає в частковому або повному поглинанні світіння чипа та

люмінесцентному перетворенні енергії в червоне світло. Такий спосіб є аналогічним до створення світлодіодів білого кольору випромінювання, які останнім часом активно розробляються.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблема збільшення енергоефективності світлодіодних джерел нині привертає значну кількість досліджень. Це стосується як пошуку оптимальних параметрів роботи (струм, температура р-п переходу, ефективність драйвера, оптичні втрати [1]), так і вибору люмінофору. Варто зауважити, що дослідження люмінофорів, як правило, проводять з метою їх використання в світлодіодах білого світла [2,3]. Щодо люмінофорів з червоним свіченням в області 660 нм, то це можуть бути оксидні матеріали з іонами перехідних (наприклад, Mn^{4+} [4]) або рідкісноземельних металів (Pr^{3+} [5]). Перевагою празеодиму над манганом є те, що основні смуги поглинання іонів Pr^{3+} у видимій області лежать у діапазоні 430 – 490 нм [6,7], тобто там де випромінюють сині світлодіоди, а їх положення слабо залежать від типу кристалічної або скляної матриці. Для іонів Mn^{4+} , як і для іонів інших перехідних металів, положення та параметри смуг у спектрах люмінесценції та її збудження суттєво залежить від матриці. Вибір оптимальної матриці для іонів і є власне тією задачею, на розв'язання якої спрямовані основні зусилля науковців та технологів при розробці ефективних люмінофорів. Цікавими, з погляду оптичних характеристик, є оксидні сполуки бісмуту, легування яких іонами рідкісноземельних елементів є досить простим.

У цій роботі ми розглянемо люмінесцентні покриття на основі легуваних іонами Pr^{3+} кристалів $KBi(MoO_4)_2$ та $K_2Bi(PO_4)(MoO_4)$. Люмінесцентні властивості цих оксидних сполук досліджувалися нами та іншими науковцями раніше [7,8], однак без аналізу можливості їх використання в фіто-світлодіодах.

Мета дослідження – з'ясування випромінювальних властивостей синіх світлодіодів, на які нанесено люмінесцентні покриття на основі Pr^{3+} -вмісних кристалів $KBi(MoO_4)_2$ або $K_2Bi(PO_4)(MoO_4)$; оцінка можливості розробки фіто-світлодіодів на основі таких систем.

Матеріали і методи дослідження. У роботі було досліджено світлодіоди синього кольору випромінювання (потужність 3 Вт), на які було нанесено люмінесцентне покриття на основі кристалів $\text{KBi}_{0,9}\text{Pr}_{0,1}(\text{MoO}_4)_2$ або $\text{K}_2\text{Bi}_{0,99}\text{Pr}_{0,01}(\text{PO}_4)(\text{MoO}_4)$. Для нанесення люмінофору на поверхню синього світлодіода було використано прозорий полімер – ціанокрилатний клей з активатором. Один зі світлодіодів був покритий лише полімером з метою перевірки впливу полімеру на процеси поглинання та випромінювання. На інші світлодіоди було нанесено покриття, яке містило 20 мг оксидної компоненти – $\text{KBi}_{0,9}\text{Pr}_{0,1}(\text{MoO}_4)_2$ або $\text{K}_2\text{Bi}_{0,99}\text{Pr}_{0,01}(\text{PO}_4)(\text{MoO}_4)$ – на 0,5 мл рідкої полімерної основи. Реєстрація спектрів випромінювання систем «світлодіод+покриття» здійснювалась за допомогою спектрометра ДФС-12.

Результати досліджень та їх обговорення. Полімерне покриття, нанесене на світлодіод, було прозорим у діапазоні видимого світла. Так, для шару товщиною близько 1 мм спостерігалось зменшення пікової інтенсивності смуги в синій області приблизно на 11 % (рис. 2). Свічення полімера за тих же умов реєстрації не спостерігалось.

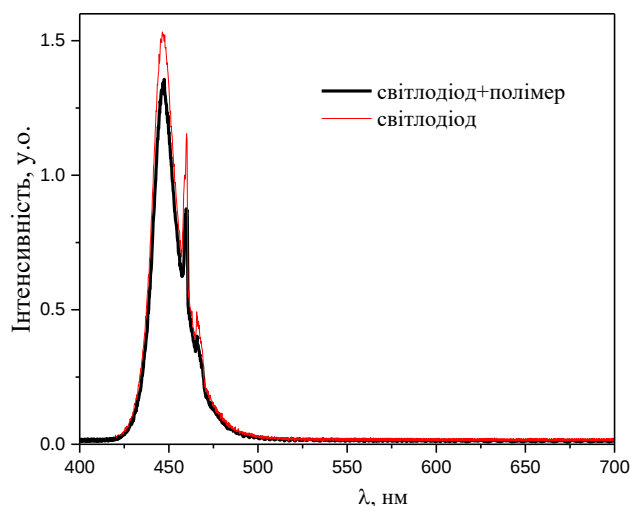


Рис. 2. Спектри випромінювання синього світлодіода «без» та «з» нанесеним шаром ціанокрилату

Одержані спектри випромінювання комбінованих систем «світлодіод + покриття із $\text{K}_2\text{Bi}_{0,99}\text{Pr}_{0,01}(\text{PO}_4)(\text{MoO}_4)$ » наведено на рис. 3 разом із спектрами поглинання хлорофілів та ФАР.

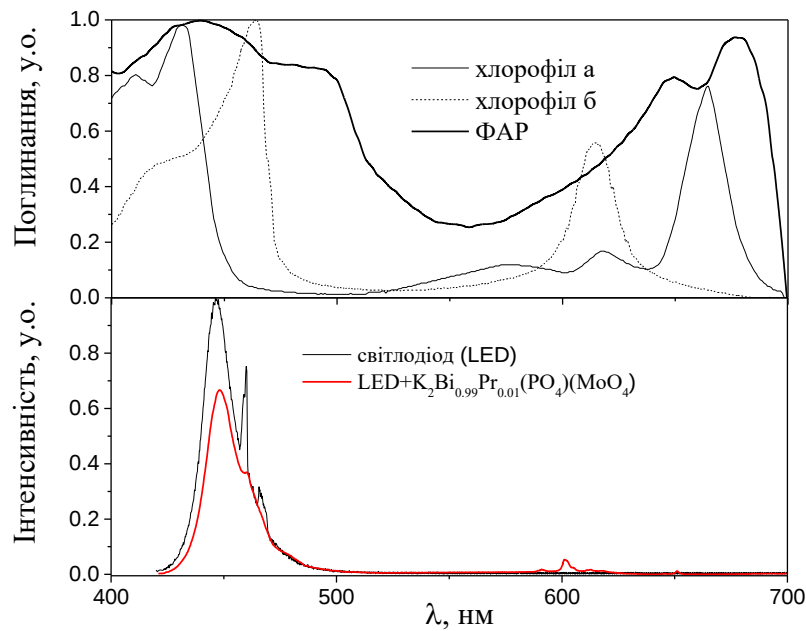


Рис. 3. Спектри поглинання хлорофілів та ФАР (зверху) та спектри випромінювання світлодіода «без» та «з» нанесеним покриттям із $\text{K}_2\text{Bi}_{0.99}\text{Pr}_{0.01}(\text{PO}_4)(\text{MoO}_4)$ в ціанокрилаті

Як випливає з рис. 3, оксидна компонента частково поглинає випромінювання синього світлодіода та перетворює його в червоне випромінювання. За положенням люмінесценція оксиду непогано співпадає з червоною смугою поглинання хлорофілу *б* та із смугами поглинання хлорофілу *а* в діапазоні 590 – 620 нм. Із недоліків одержаного модельного зразка можна відзначити малу кількість перетвореного синього світла в червоне, що видно із невисокої інтенсивності люмінесценції $\text{K}_2\text{Bi}_{0.99}\text{Pr}_{0.01}(\text{PO}_4)(\text{MoO}_4)$. Усунути цей недолік можна зміною методу нанесення: коли люмінофор наноситься не на поверхню лінзи світлодіода, а власне на базовий чіп. Інший недолік – невисока інтенсивність смуги в околі 650 нм. На жаль, цей недолік пов'язано із характеристиками оксидної компоненти і, наразі, збільшити інтенсивність випромінювання в області 650 нм неможливо без зміни методик синтезу та додаткової модифікації структури цього оксиду.

Більш цікавий випадком є застосування покриття на основі $\text{KBi}_{0.9}\text{Pr}_{0.1}(\text{MoO}_4)_2$. Як випливає із рис. 4, оксидна компонента поглинає випромінювання базового синього світлодіода та дещо модифікує спектр його випромінювання. При цьому інтенсивність випромінювання в червоній області є вищою, ніж для випадку

$\text{K}_2\text{Bi}_{0.99}\text{Pr}_{0.01}(\text{PO}_4)(\text{MoO}_4)$. Також зазначимо кращу кореляцію між смугами випромінювання іонів Pr^{3+} в $\text{KBi}_{0.9}\text{Pr}_{0.1}(\text{MoO}_4)_2$ із смугами поглинання хлорофілів в червоній області. Така ситуація реалізується, в першу чергу, через різницю в найближчому оточенні іонів празеодиму в цих двох оксидах. Відомо, що випромінювальний перехід ${}^3\text{P}_1 \rightarrow {}^3\text{F}_2$, з яким пов'язана смуга люмінесценції іонів Pr^{3+} на 650 нм, є надчутливим – тобто його інтенсивність сильно залежить від симетрії оточення іона в матриці.

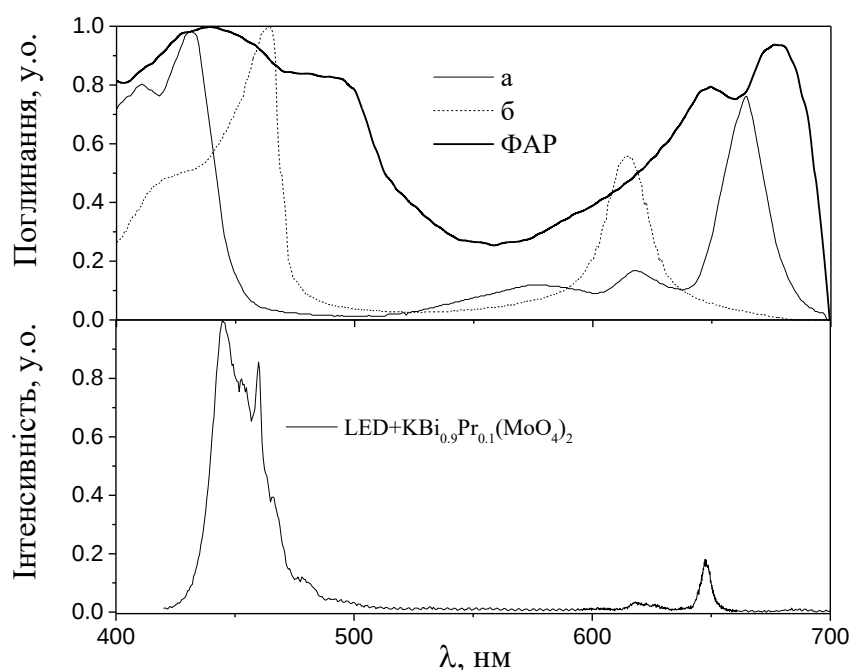


Рис. 4. Спектри поглинання хлорофілів та ФАР (зверху) та спектри випромінювання світлодіода з нанесеним люмінесцентним шаром $\text{KBi}_{0.9}\text{Pr}_{0.1}(\text{MoO}_4)_2$ в ціанокрилаті

Інший важливий аспект – це метод нанесення люмінесцентного покриття. Ймовірно, що нанесення оксиду на базовий напівпровідниковий чіп дозволить змінити співвідношення між інтенсивністю синього та червоного випромінюванням комбінованої системи «світлодіод+покриття». Крім того, в цьому випадку кількість використаного оксиду можна суттєво зменшити - кількох міліграмів/чіп.

Висновки і перспективи. У роботі продемонстровано, що використання люмінесцентних покриттів на основі Pr^{3+} -вмісних оксидів дає можливість створити фіто-світлодіод, який одночасно випромінює в синій та червоній областях, де

поглинають молекули хлорофілів у рослинах. При цьому оксид поглинає частину випромінювання базового світлодіода та перетворює поглинуту енергію в червоне світло шляхом люмінесцентних переходів в іонах Pr^{3+} . Положення смуги надчутливих переходів ${}^3\text{P}_J \rightarrow {}^3\text{F}_2$ в цих іонах є придатними для застосування в фіто-світлодіодах. Шляхом підбору оптимальної концентрації празеодиму в сполуці $\text{KBi}_{1-x}\text{Pr}_x(\text{MoO}_4)_2$ та вибором способу нанесення покриття на базовий світлодіод можна підвищити інтенсивність червоного випромінювання системи «світлодіод+ $\text{KBi}_{1-x}\text{Pr}_x(\text{MoO}_4)_2$ ».

Список використаних джерел

1. Kusuma P., Pattison P. M., Bugbee B. From physics to fixtures to food: current and potential LED efficacy. *Horticulture Research*. 2020. Vol. 7. P. 56.
2. Singh S., Simantilleke A. P., Singh D. Crystal structure and photoluminescence investigations of $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Dy}^{3+}$ nanocrystalline phosphors for WLEDs. *Chemical Physics Letters*. 2021. Vol. 765. P. 138300.
3. Farooq U., Zhao Z., Sui Z., et al. $\text{Tm}^{3+}/\text{Dy}^{3+}/\text{Eu}^{3+}$ (Sm^{3+}) tri-activated Y_2WO_6 as one potential single-phase phosphor for WLEDs. *Journal of Alloys and Compounds*. 2019. Vol. 778. P. 942-950.
4. Gu S., Xia M., Zhou C., et al. Red shift properties, crystal field theory and nephelauxetic effect on Mn^{4+} -doped $\text{SrMgAl}_{10-y}\text{Ga}_y\text{O}_{17}$ red phosphor for plant growth LED light. *Chemical Engineering Journal*. 2020. Vol. 396. P. 125208.
5. Pawar P. P., Munishwar S. R., Gedam R. S. Physical and optical properties of $\text{Dy}^{3+}/\text{Pr}^{3+}$ Co-doped lithium borate glasses for W-LED. *Journal of Alloys and Compounds*. 2016. Vol. 660. P. 347-355.
6. Бойко В. В., Чорний В. П., Неділько С. Г. та ін. Люмінесцентні властивості ортофосфату бісмуту легованого іонами європію та празеодиму. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК»*. 2018. Вип. 283. С. 103-111.
7. Grigorjevaite J., Katelnikovas A. Synthesis and optical properties investigation of blue-excitable red-emitting $\text{K}_2\text{Bi}(\text{PO}_4)(\text{MoO}_4):\text{Pr}^{3+}$ powders. *Journal of Materials Research and Technology*. 2020. Vol. 9. P. 15779-15787.
8. Chornii V., Boyko V., Nedilko S. G., et al. Synthesis, morphology and luminescence properties of Pr^{3+} -containing phosphate-molybdate glass-ceramics. *Proceedings of the 2021 IEEE 11th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP-2021)*, IEEE, 2021, art. № 9568601.

References

1. Kusuma, P., Pattison, P. M., & Bugbee, B. (2020). From physics to fixtures to food: Current and potential LED efficacy. *Horticulture research*, 7, 56.
2. Singh, S., Simantilleke, A. P., & Singh, D. (2021). Crystal structure and photoluminescence investigations of $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Dy}^{3+}$ nanocrystalline phosphors for WLEDs. *Chemical Physics Letters*, 765, 138300.

3. Farooq, U., Zhao, Z., Sui, Z., Gao, C., Dai, R., Wang, Z., & Zhang, Z. (2019). $\text{Tm}^{3+}/\text{Dy}^{3+}/\text{Eu}^{3+}$ (Sm^{3+}) tri-activated Y_2WO_6 as one potential single-phase phosphor for WLEDs. *Journal of Alloys and Compounds*, 778, 942-950.
4. Gu, S., Xia, M., Zhou, C., Kong, Z., Molokeev, M. S., Liu, L., ... & Zhou, Z. (2020). Red shift properties, crystal field theory and nephelauxetic effect on Mn^{4+} -doped $\text{SrMgAl}_{10-y}\text{Ga}_y\text{O}_{17}$ red phosphor for plant growth LED light. *Chemical Engineering Journal*, 396, 125208.
5. Pawar, P. P., Munishwar, S. R., & Gedam, R. S. (2016). Physical and optical properties of $\text{Dy}^{3+}/\text{Pr}^{3+}$ Co-doped lithium borate glasses for W-LED. *Journal of Alloys and Compounds*, 660, 347-355.
6. Boyko, V. V., Chornii, V. P., Nedilko, S. G., Terebilenko, K. V., & Slobodyanik, M. C. (2018). Luminescentni vlastyvoli ortofosfatu bismutu legovanogo ionamy evropiyu ta prazeodymu [Luminescence properties of bismuth orthophosphate doped with europium and praseodymium ions]. *Scientific bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: Technology and power engineering in agriculture*, (283), 103-111.
7. Grigorjevaite, J., & Katelnikovas, A. (2020). Synthesis and optical properties investigation of blue-excitable red-emitting $\text{K}_2\text{Bi}(\text{PO}_4)(\text{MoO}_4):\text{Pr}^{3+}$ powders. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(6), 15779-15787.
8. Chornii, V., Boyko, V., Nedilko, S. G., Terebilenko, K., & Slobodyanik, M. (2021). Synthesis, morphology and luminescence properties of Pr^{3+} -containing phosphate-molybdate glass-ceramics. In 2021 IEEE 11th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP) (pp. 1-4). IEEE.

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ Pr^{3+} -СОДЕРЖАЩИХ СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ФИТО-СВЕТОДИОДОВ

***В. В. Бойко, В. П. Чорний, С. Г. Неделько, Н. С. Слободяник,
К. В. Теребиленко, В. П. Щербацкий***

Аннотация. *Растения в теплицах и оранжереях выращивают в условиях светокультуры, т.е. когда частично или полностью используется искусственное освещение. С этой целью используют различные лампы – ксеноновые, натриевые: высокого или низкого давления, ртутные, светодиодные и т.д. В недавних исследованиях было показано, что для светодиодных ламп можно достичь на 60 % большей эффективности при освещении теплиц, чем для натриевых ламп. Повышенная энергоэффективность светодиодных ламп (фитоламп) связана с совпадением их полос излучения со спектрами фотосинтетической активной радиации. Простейшие фитолампы являются приборами, состоящими из нескольких светодиодов синего и красного света (фито-светодиодов). Существенным недостатком красных светодиодов, созданных на основе полупроводниковых структур, является их стоимость, которая значительно больше, чем у синих фито-светодиодов. Одним из способов уменьшения цены красных светодиодов может быть их создание на основе полупроводниковой структуры (чипа) InGaN с синим цветом излучения с нанесенным слоем неорганического люминофора. Люминофоры с красным свечением могут быть созданы на основе оксидных материалов с ионами переходных или редкоземельных*

металлов, например Pr^{3+} . Преимуществом празеодима над ионами переходных элементов является то, что основные полосы поглощения ионов Pr^{3+} в видимой области лежат в диапазоне 430 – 490 нм, то есть в области излучения синих светодиодов. Положение этих полос слабо зависит от типа кристаллической или стеклянной матрицы. В данной работе рассмотрены люминесцентные покрытия на основе легированных ионами Pr^{3+} кристаллов $KBi(MoO_4)_2$ и $K_2Bi(PO_4)(MoO_4)$. Нанесение покрытия на светодиод производилось с помощью полимера – цианокрилатного клея. Установлено, что использованный полимер слабо поглощает излучение светодиода и не обнаруживает существенной люминесценции в видимой области при возбуждении на 446 нм. Для покрытия на основе $K_2Bi_{0,99}Pr_{0,01}(PO_4)(MoO_4)$ показано, что по положению полос люминесценция оксида неплохо совпадает с красной полосой поглощения хлорофилла б и со слабыми полосами поглощения хлорофилла а в диапазоне 590 – 620 нм. Однако эффективность превращения синего света в красный для этого покрытия невелика. Лучших результатов можно достичь при применении $KBi_{0,9}Pr_{0,1}(MoO_4)_2$, для которого имеет место лучшая корреляция с полосами поглощения хлорофиллов, а также более высокая эффективность превращения синего света в красный. Эффективность исследованных люминесцентных покрытий для фито-светодиодов можно повысить путем изменения содержания празеодима в $KBi_{1-x}Pr_x(MoO_4)_2$ и оптимизацией метода нанесения покрытия.

Ключевые слова: висмут, молибдат, празеодим, светодиод, фосфат, фотолюминесценция, хлорофилл

LUMINESCENT COATINGS BASED ON Pr-CONTAINING COMPLEX OXIDES FOR THE ELABORATION OF PHYTO-LEDS

V. Boyko, V. Chornii, S. Nedilko, M. Slobodyanik, K. Terebilenko, V. Scherbatskyi

Abstract. Plants in greenhouses are grown under special lighting conditions, i.e. when partially or completely artificial lighting is used. For this purpose, various lamps are used - xenon, high or low pressure sodium, mercury, LED, etc. Recent studies have shown that LED lamps can achieve about 60 % more efficiency in greenhouse lighting than sodium lamps. The increased energy efficiency of LED lamps (phyto-lamps) is associated with the coincidence of their emission bands with the spectra of photosynthetic active radiation. The simplest phyto-lamps are devices consisting of several blue and red light LEDs (phyto-LEDs). A significant disadvantage of red LEDs those are based on the semiconductor structures is their cost, which is much higher than that of blue phyto-LEDs. One of the ways to reduce the price of red LEDs can be their elaboration on the basis of an InGaN semiconductor structure (chip) with a blue light emission, with a deposited layer of an inorganic phosphor. Phosphors with a red emission can be created on the basis of oxide materials with ions of transition or rare earth metals, such as Pr^{3+} . The advantage of praseodymium over transition element ions is that the main absorption bands of Pr^{3+} ions in the visible region located in the range of 430–490 nm, namely in the emission region of blue LEDs. The position of these bands weakly depends on the type of crystalline or glass matrix. In this work, luminescent coatings based on $KBi(MoO_4)_2$ and $K_2Bi(PO_4)(MoO_4)$ crystals doped with Pr^{3+} ions are considered. The coating on the LED was carried out using a polymer - cyanoacrylate glue. It has been found that the polymer

used weakly absorbs LED radiation and does not exhibit significant luminescence in the visible region upon excitation at 446 nm. For a coating based on $K_2Bi_{0.99}Pr_{0.01}(PO_4)(MoO_4)$, it was shown that, in terms of the position of the oxide luminescence bands, it agrees well with the red absorption band of chlorophyll b and with weak absorption bands of chlorophyll in the range of 590–620 nm. However, the efficiency of blue into red light converting for this coating is rather low. Better results can be achieved with $KBi_{0.9}Pr_{0.1}(MoO_4)_2$, which has a better correlation with chlorophyll's absorption bands, as well as a higher blue-to-red conversion efficiency. In our opinion, by varying the content of praseodymium in $KBi_{1-x}Pr_x(MoO_4)_2$ and optimizing the deposition method, it is possible to increase the efficiency of such luminescent coatings for the development of phyto-LEDs.

Key words: *bismuth, molybdate, praseodymium, light emitting diode, phosphate, photoluminescence, chlorophyll*