

УДК 666.266

**НАНОСТРУКТУРОВАНІ ПРОЗОРИ СКЛОКРИСТАЛІЧНІ МАТЕРІАЛИ
ДЛЯ ЛАЗЕРНОЇ ТЕХНІКИ****Тур Олег Георгійович,**

аспірант;

Саввова Оксана Вікторівна,

доктор технічних наук, професорка, професорка;

Воронов Геннадій Костянтинович,

кандидат технічних наук, доцент, доцент;

Довгопол Анастасія Вікторівна,

студентка

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

oleh.tur@kname.edu.ua

За останні два десятиліття значну увагу привертають оптично прозорі керамічні й склокерамічні матеріали як різноманітні оптичні елементи [1]. Актуальність розробки обумовлена практичною потребою в джерелах лазерного випромінювання мікронного діапазону, які відповідають сучасним стандартам ЄС та НАТО щодо безпечного для зору діапазону використовуваних частот (1,5–1,6 мкм) та енергії вихідного лазерного випромінювання (до 8 мДж). В Україні на теперішній час відсутні власні розробки імпульсно-періодичних лазерів півторамакронного діапазону, а також не налагоджено виробництво основних комплектуючих для цього типу лазерів, зокрема пасивних модуляторів добротності. У країнах ЄС процес удосконалення старих і розробка нових лазерних джерел, а також апаратури на їх основі носить постійний характер.

Ефективність виготовлення керамічних компонентів має потенціал бути високорентабельним й демонструвати покращену однорідність оптичних властивостей порівняно з кристалічними. Особливо для оптичних лазерних компонентів все ще залишається нетривіальна проблема подолання залишкового розсіювання світла, яка спричинена пустотами й дислокаціями матеріалу. До перспективних напрямків можна віднести розробку лазерних стрижнів Nd:YAG. Порівняно з монокристалічними лазерними стрижнями однакового розміру, виготовлені керамічні стрижні показали вищу ефективність лазерного випромінювання та лише незначну зміну механічної міцності [1].

Відомо, що монокристали $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$ [2] застосовується для перемикання добротності для лазерів ближнього інфрачервоного діапазону на основі Er^{3+} ($\lambda=1,54$ мкм). Альтернативою керамічні матеріали на основі MgAl_2O_4 , які леговано Co^{2+} як пасивні елементи з модуляцією добротності

в 1,534 мкм лазері Er:Glass. Але вирощування оксидних монокристалів ускладнене необхідністю використання вартісного устаткування та оснастки за умов високих температур ($t_{\text{пл.}} =$ близько 2000 °С), необхідністю дотримання однорідності розподілення активатора в об'ємі, а для кераміки – складністю вибору технологічних параметрів її одержання. Отримання оптичної склокераміки з оксидними нанокристаллами, які активовані іонами Co^{2+} , створить науково-технологічне підґрунтя для розробки технології виробництва матеріалів для пасивних модуляторів добротності випромінювання Yb-Er лазерів (1,5 мкм), що є вкрай необхідним етапом розробки компактних імпульсних лазерів безпечного для зору діапазону довжин хвиль.

Прозору склокераміку, що містить нанокристали $\text{Co:Mg(Al,Ga)}_2\text{O}_4$ (середній діаметр 7–9 нм), синтезують термічною обробкою за 850–950 °С із магнієво-алюмосилікатного скла, що містить TiO_2 та легований Ga_2O_3 і CoO . Такий матеріал демонструє широкосмугове ${}^4\text{A}_2{}^4(\text{F}) \rightarrow {}^4\text{T}_1{}^4(\text{F})$ поглинання за рахунок іонів Co^{2+} , низький флюенс насичення ($\sim 0,5$ Дж/см²), швидкий час відновлення початкового поглинання (~ 300 нс) й високий поріг пошкодження лазером (~ 20 Дж/см²) [3, 4]. Прозора шпінельна склокераміка використовуються для пасивної модуляції добротності діодного Er,Yb:скляного лазера з боковою накачкою, який генерує імпульси 3,1 мДж/20 нс (пікова потужність 155 кВт) на довжині хвилі 1535 нм з режимом виходу TEM_{00} . Ефективність модуляції добротності склокераміки на основі $\text{Co:Mg(Al,Ga)}_2\text{O}_4$ порівнюється з такою для кераміки, легової Co^{2+} , та монокристалів $\text{Co:MgAl}_2\text{O}_4$.

Наноструктуровані склокристалічні матеріали на основі шпінелі мають вищу конкурентну здатність завдяки вищій технологічності та меншій вартості є перспективними для подальшого застосування в Er:YAG та інших кристалічних (або керамічних) лазерах Er з пасивною модуляцією добротності.

Список використаних джерел

1. Shirakov A., Burshtein Z., Goldstein A., Frumker E., Ishaaya A.A. Use of $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$ transparent ceramics in passive Q-switching of an Er:Glass laser at 1.534 μm . *Optics Express*, 2020. Vol. 28, Iss. 15. P. 21956–21970.
2. Vitkin V., Loiko P., Dymshits O., Zhilin A., Alekseeva I., Sabitova D., Polishchuk A., Malyarevich A., Mateos X., Yumashev K.V. Passive Q-switching of an Er, Yb:glass laser with $\text{Co:Mg(Al,Ga)}_2\text{O}_4$ -based glass-ceramics. *Applied Optics*, 2017. Vol. 56, Iss. 8. P. 2142–2149.
3. Саввова О.В., Воронов Г.К., Фесенко О.І., Смирнова Ю.О., Пилипенко О.І., Покроєва Я.О., Тур О.Г. Структура склокерамічних матеріалів : монографія. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. 2023. 152 с.
4. Dymshits O., Shepilov M., Zhilin A. Transparent glass-ceramics for optical applications. *Glass-ceramics*. 2017. Vol. 42, Iss. 3. P. 200–205.