

УДК 521.937

PACS 07.60.Fs, 78.20.Ek, 78.20.Fm 33.55.+b

ОПТИЧНА АНІЗОТРОПІЯ КРИСТАЛІВ ЛАНГАСИТУ

Я. Шопа, Н. Фтомин, І. Соколюк

*Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Кирила і Мефодія, 8, 79005 Львів, Україна
e-mail: shopa@franko.lviv.ua*

Виміряно температурні (20 – 100°C) залежності величини компоненти g_{11} тензора гірації і лінійного дихроїзму кристалів $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ для довжин хвиль 532, 635 та 650 нм. Враховано систематичні похибки поляриметричного експерименту.

Ключові слова: поляриметрия, оптична активність, дихроїзм, двозаломлення.

Тригональні кристали лангаситу $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ (далі LGS), які належать до точкової групи симетрії 32, є добрими п'єзоелектричними матеріалами. Коефіцієнт електромеханічного зв'язку для них має величину, проміжну між кварцом і танталом літїю, що сприяє їхньому застосуванню в акустoeлектроніці. Оптико-фізичні властивості цих кристалів детально вивчені [1–3], але можна простежити відмінності в експериментальних даних різних авторів, які пояснюють різними умовами вирощування та можливим розупорядкуванням структури, оскільки позицію $2d$ у кристалічній ґратці можуть з однаковою ймовірністю займати йони Ga та Si. Зважаючи на те, що оптична активність (ОА) суттєво залежить від структурних особливостей кристалів родини лангаситу [4], доцільним є вимірювання цього явища та порівняння одержаних даних з уже відомими досі.

Точні результати з ОА та лінійного дихроїзму (ЛД) можна одержати сучасними методами поляриметрії, зокрема за допомогою НАУР (High-accuracy-universal-polarimeter) [5]. Незважаючи на значні труднощі, що виникають під час врахування неідеальності поляризаційних елементів схеми [6], НАУР сьогодні активно використовують у фізичній оптиці. Як встановлено багатьма незалежними дослідженнями [7–13], паразитні еліптичності світла після поляризатора p та аналізатора q можуть бути співмірними з вимірюваною еліптичністю k власних хвиль у кристалі, тому визначення цих систематичних похибок є важливим для точного встановлення величини ОА.

Ми проводили вимірювання на лазерному комп'ютеризованому поляриметрі за схемою поляризатор-зразок-аналізатор (PSA). Джерелами світла слугували твердотільний лазер ($\lambda = 532$ нм, 5 мВт) з діодним збудженням та два напівпровідникові лазерні діоди на основі AlGaInP ($\lambda = 635$ нм та $\lambda = 650$ нм, 10 мВт). Дві близькі ($\Delta\lambda = 15$ нм) довжини хвиль діодних лазерів давали змогу застосувати простішу

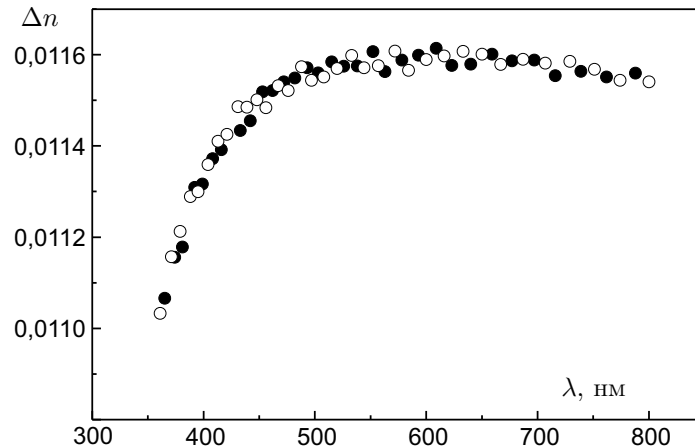


Рис. 1. Дисперсія лінійного двозаломлення $\Delta n = n_o - n_e$ кристала LGS, виміряна за максимумами (○) та мінімумами (●) пропускання системою PSA.

схему вилучення систематичних похибок, а для $\lambda = 532$ нм можна точно виміряти ЛД.

Порівняно із напівпровідниковими лазерами червоного діапазону одномодовий пучок твердотільного лазера має кращі характеристики якості (щодо розбіжності, модового складу, поляризації, монохроматичності). У той же час стабільність інтенсивності є кращою у лазерних діодів, оскільки її легко забезпечити застосуванням електронних схем стабілізації робочого струму. Для поляриметрії ж найважливішими є монохроматичність та часова стабільність потужності випромінювання лазерів упродовж всього експерименту. Відомо, що газові гелій-неонові лазери забезпечують високу монохроматичність, також можна підібрати зразки із близькими довжинами хвиль (наприклад, $\lambda = 543$ нм, $\lambda = 612$ нм та $\lambda = 633$ нм). Однак часові зміни потужності пучків цих лазерів є відносно великими, а зразки з високою стабільністю параметрів є малопотужними і незручними для поляриметрії.

Поляризатором та аналізатором у системі PSA слугували однакові кальцитові призми Глана з апертурою 10×10 мм². Для їхнього повертання використовували спеціальні механізми із кроковими моторами. Кутове розділення поляризаційної системи дорівнювало приблизно $1,3 \times 10^{-3}$ град на один крок двигуна у діапазоні 10 град.

Інтенсивність світла після аналізатора детектували за допомогою фотодіода ФД-288А, приєднаного до низькоімпедансного операційного підсилювача AD8646. У фотовольтаїчному режимі фотодіод генерує малий струм, який пропорційний до рівня інтенсивності I світла і забезпечує лінійність світлової характеристики від 6 до 9-ти декад [14]. 24-бітний аналого-цифровий перетворювач забезпечував точне вимірювання і передавання даних у ПК послідовним портом RS232 зі швидкістю 115200 біт/с.

Зразок LGS, вирізаний паралельно до оптичної осі, товщиною 2,045 мм перебував у термостаті, температуру кристала змінювали від 20 до 100 °С. Дисперсію лінійного двозаломлення $\Delta n(\lambda)$ для кімнатної температури (рис. 1) одержали за

спектральним методом [15]. Аномальний характер цієї залежності зумовлений ЛД. Ці дані добре збігаються із одержаними авторами праці [1], але точні величини лінійного двозаломлення (ЛДЗ) для нашого зразка є важливими під час опрацювання результатів, одержаних на поляриметри.

Вимірювання ОА та ЛД проводили за методикою, яка детально описана в [16, 17], для двох орієнтацій зразка у поляризаційній системі, повертаючи його на кут 90° навколо напрямку поширення лазерного променя. Використання цієї додаткової процедури потрібне для вилучення систематичних похибок, оскільки при цьому основні величини оптичної анізотропії [4] (двозаломлення Δn , лінійний дихроїзм $\Delta \kappa$, еліптичність k власних хвиль) змінюють свій знак на протилежний, а систематичні похибки p та q поляризаційної системи залишаються незмінними. Позначення величин вибираємо такими ж, як у працях [16–18].

На довжині хвилі 532 нм помітним є ЛД, який вимірювали на поляриметри за допомогою НАУР-мап за методикою [17]. Для двох (0° та 90°) орієнтацій зразка ЛД справді відрізняється знаком, але за абсолютною величиною приблизно однаковий (рис. 2). Натомість на довжинах хвиль 635 нм та 650 нм ЛД у цих кристалах не спостерігався. Різниця показників поглинання $\Delta \kappa = \kappa_o - \kappa_e$ для двох поляризацій світла з довжиною хвилі 532 нм не перевищує $0,7 \times 10^{-6}$. Прямий метод вимірювання ЛД за спектрами поглинання поляризованого світла, який застосовано у праці [1], дає змогу надійно фіксувати в ультрафіолетовій ділянці лише величину, яка значно більша від $1,0 \times 10^{-6}$. Це свідчить про вищу чутливість застосованого тут поляриметричного методу визначення ЛД, який не передбачає повертання поляризатора на кут 90° та змін у налаштуваннях апаратури.

Для точкової групи симетрії 32 тензор гірації \hat{g} має дві незалежні діагональні компоненти: $g_{11} = g_{22}$ та g_{33} [15]. ОА у напрямку, перпендикулярному до оптичної осі,

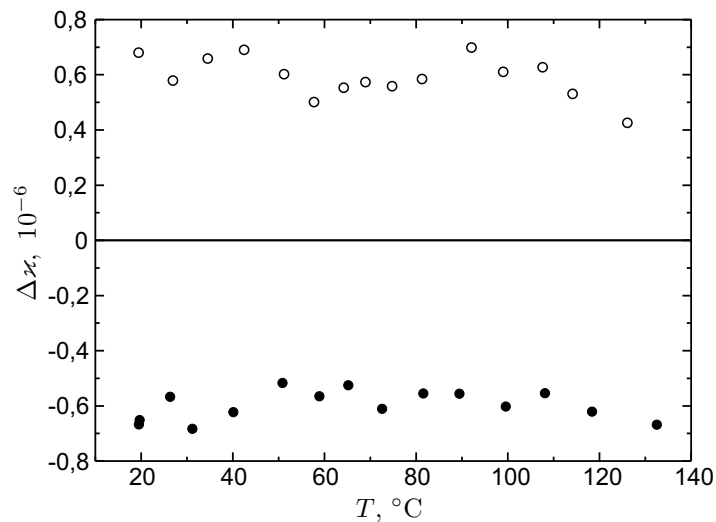


Рис. 2. Температурна залежність лінійного дихроїзму $\Delta \kappa$ на довжині хвилі $\lambda = 532$ нм для двох орієнтацій кристала LGS.

визначається компонентою g_{11} , для якої справедливе співвідношення: $g_{11} = 2k\bar{n}\Delta n$ [4]. Тут $\bar{n} = \sqrt{n_o n_e}$ – середній показник заломлення. Еліптичність k власних хвиль визначали за аналогічною до застосованої у праці [18] методикою, яка ґрунтується на вимірюванні характеристичних кутів для двох близьких довжин хвиль λ (в нашому випадку 635 та 650 нм) і припущенні, що величина k разом із систематичними похибками p, q однакові. Враховуючи те, що для кожної довжини хвилі (635 та 650 нм) маємо ще дві орієнтації зразка в системі PSA, одержуємо чотири набори даних для розрахунку залежності k від температури зразка.

Усреднюючи експериментально виміряні величини $2k - p + q$ для двох довжин хвиль (рис. 3) та враховуючи відмінності у знаках еліптичності k для вхідного світла з поляризацією, яка паралельна до оптичної осі (0°) та перпендикулярна (90°), одержуємо систематичну похибку $p - q \approx 6,5 \times 10^{-4}$ град. Її числове значення суттєво менше від еліптичності k і мало впливає на результат експерименту. Однак встановлено також, що $p + q = 0,062$ град, тому паразитні еліптичності світла після поляризатора та аналізатора майже однакові й за абсолютною величиною навіть перевищують еліптичність k власних хвиль у кристалі. Лише відмінність у знаках p та q призвела до випадково малого їхнього внеску в характеристичну величину $2k - p + q$, яку вимірюють на поляриметрі та використовують для визначення ОА у кристалі.

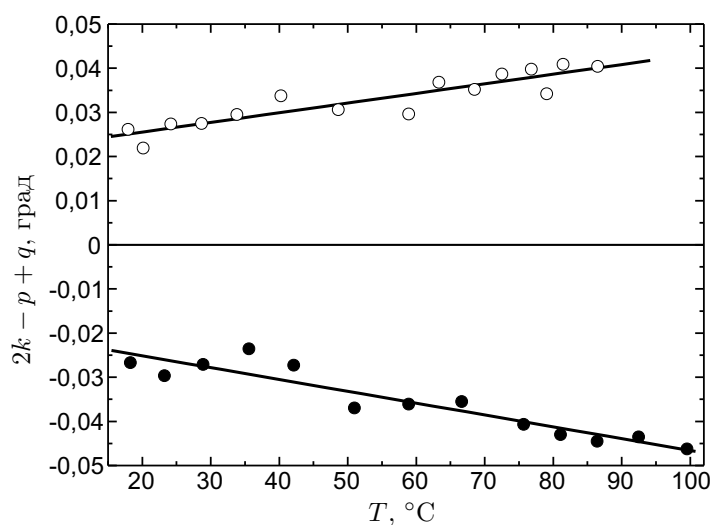


Рис. 3. Залежності суперпозиції еліптичності k власних хвиль у кристалі LGS та систематичних похибок (p, q) поляризаційної системи, виміряних для двох поляризацій світла: 0° – \circ та 90° – \bullet .

Скориставшись результатами рефрактометричних досліджень [1] для LGS, розраховуємо температурну залежність компоненти g_{11} тензора гірації (рис. 4). За нашими даними для кімнатної температури величина $g_{11} = (1,0 \pm 0,05) \times 10^{-5}$ і є суттєво меншою від $g_{11} \approx 5,0 \times 10^{-5}$, поданої в [1, 3]. Автори цих праць застосовували усереднення для двох поляризацій світла, але метод осциляцій значно вразливіший до

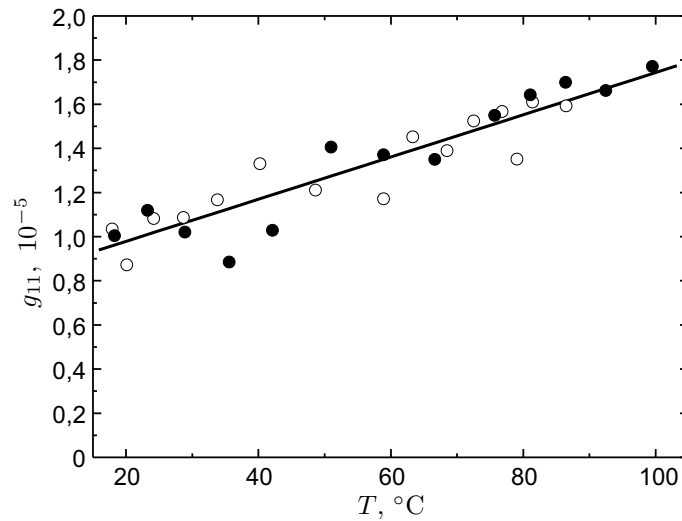


Рис. 4. Усереднена для двох довжин хвиль (635 та 650 нм) і двох (0° – \circ та 90° – \bullet) вхідних поляризацій світла температурна залежність компоненти g_{11} тензора гірації кристала LGS.

систематичних похибок порівняно із НАУР, хоча й дає спектральну залежність ОА. Так само є відмінності між g_{11} , виміряним на лазерному (633 нм) поляриметри [19], й усередненим тут для 635 та 650 нм. Складність врахування усіх похибок під час таких експериментальних досліджень добре відома, однак слід брати до уваги й чутливість ОА до структурних особливостей зразків, одержаних у різних умовах.

Застосування методики високоточної поляриметрії дало змогу виміряти ОА та ЛД у кристалах $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$. Отримано усереднені для двох (635 та 650 нм) довжин хвиль температурні (20 – 100°C) залежності компоненти g_{11} тензора гірації та розраховано величини систематичних похибок апаратури, які впливають на результати досліджень.

Список використаної літератури

1. A.A. Kaminskii, B.V. Mill, G.G. Khodzhabyan, et al., Phys. Stat. Sol. (a) **80**, 387 (1983).
2. А.А. Каминский, Л.К. Аминов, В.Л. Ермолаева *Физика и спектроскопия лазерных кристаллов* (М.: Наука, 1986).
3. К.А. Калдыбаев, А.Ф. Константинова, З.Б. Перекалина *Гиротропия одноосных поглощающих кристаллов* (Москва: ISPIN, 2000).
4. A.F. Konstantinova, E.A. Evdishchenko and K.B. Imangazieva, Crystallography Reports. **51**, №6, 998 (2006).
5. J. Kobayashi, Y. Uesu, J. Appl. Cryst. **16**, 204 (1983).
6. Р. Аззам, Н. Башара *Эллипсометрия и поляризованный свет* (Москва: Мир, 1981).
7. С. Hernández-Rodríguez, P.Gómez-Garrido, J. Phys. D : Appl. Phys. **33**, 2985 (2000).
8. J.R. Moxon, A.R. Renshaw, J. Phys.: Condens. Matter. **2**, 6807 (1990).

9. J.R. Moxon, A.R. Renshaw, I.J. Tebbutt, J. Phys. D : Appl. Phys., **24**, 1187 (1991).
10. E. Dijkstra, H. Meeke, M. Kremers, J. Phys. D: Appl. Phys. **24**, 1861 (1991).
11. J. Kobayashi, T. Asahi, M. Sakurai et al., Phys. Rev. B. **53**, №17, 11784 (1996).
12. C.L. Folcia, J. Ortega, J. Etchebarria, J. Phys. D : Appl. Phys. **32**, 2266 (1999).
13. Я.І. Шоп, Журн. фіз. досл. **5**, №1, 70 (2001).
14. W. Jung, G. Water *Op Amp applications handbook* (Elsevier, 2005).
15. М.О. Романюк *Практикум з кристалооптики і кристалофізики: навчальний посібник* (Львів : ЛНУ ім. І.Франка, 2012).
16. Я.І. Шоп, Н.Є. Фтомин, Журн. фіз. досл. **14**, №4, 4001-1 (2010).
17. Y.Shopa, N.Ftomyn, Ukr. J. Phys. Opt. **7**, №4, 183 (2006).
18. Y. Shopa, N. Ftomyn, Proceedings SPIE. **7388**, 7388OX-1 (2009).
19. Y.I. Shopa, M.O. Kravchuk, Phys. stat. sol. (a). **158**, 275 (1996).

Стаття надійшла до редакції 9.10.2013
прийнята до друку 7.11.2013

OPTICAL ANISOTROPY OF LANGASITE CRYSTALS

Y. Shopa, N. Ftomyn, I. Sokoliuk

*Ivan Franko National University of Lviv
Kyrylo and Mefodiy Str., 8, 79005 Lviv, Ukraine
e-mail: shopa@franko.lviv.ua*

Temperature dependences (20 – 100°C) of the gyration tensor component g_{11} , as well as the linear dichroisms are measured in $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ crystals for 532, 635 and 650 nm wavelengths. The systematic errors of the polarimetric experiments have been taken into account.

Key words: polarimetry, optical activity, dichroism, optical birefringence.

ОПТИЧЕСКАЯ АНИЗОТРОПИЯ КРИСТАЛЛОВ ЛАНГАСИТА

Я. Шоп, Н. Фтомын, И. Соколюк

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко
ул. Кирилла и Мефодия 8, 79005 Львов, Украина
e-mail: shopa@franko.lviv.ua*

Измерены температурные (20 – 100°C) зависимости компоненты g_{11} тензора гирации и линейного дихроизма кристаллов $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ для длин волн 532, 635 и 650 нм. Учтены систематические погрешности поляриметрического эксперимента.

Ключевые слова: поляриметрия, оптическая активность, дихроизм, двупреломление.