

УДК 535.377

Т.О. Окунєва¹, В.Т. Маслюк¹, І.Г. Мегела¹, Я.М. Пекар², В.Я. Пекар²

¹Інститут електронної фізики НАН України, вул. Університетська, 21, 88000, Ужгород
e-mail: nuclear@email.uz.ua

²ТОВ "Технокристал-корунд", вул. Гранітна, 5а, 88000, Ужгород

ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОННОГО ОПРОМІНЕННЯ НА ОПТИЧНІ ТА ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ ВЛАСТИВОСТІ НЕЛЕГОВАНИХ ТА ЛЕГОВАНИХ НІОБІЄМ КРИСТАЛІВ ЛЕЙКОСАПФІРУ

Досліджено відмінності впливу опромінення електронами з енергією 7 МеВ та γ -квантами Co^{60} на оптичні та люмінесцентні властивості кристалів лейкосапфіру, вирощених видозміненим методом Кіропулоса, з використанням молібденових та ніобієвих екранів. Показано, що використання ніобієвих екранів погіршує оптичну якість вирощених кристалів і одночасно збільшує виходи сигналів термолюмінесценції, що може бути використано для дозиметрії.

Ключові слова: термолюмінесценція, фосфоресценція, оптичне поглинання, лейкосапфір, електронне і γ -опромінення.

Вступ

Завдяки своїм унікальним властивостям (хімічна та радіаційна стійкість, висока твердість, відмінні оптичні якості) різні модифікації кристалів $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ широко використовуються в науці, техніці та в побуті. Сформувались дві основні області використання лейкосапфіру як конструктивний і оптичний матеріал, зокрема, захисні вікна, ілюмінатори в космічних апаратах та підкладки в мікросхемах, що працюють в умовах підвищеного радіаційного фону. Крім того, в останній час, аніон-дефектний лейкосапфір разом зі сполуками LiF та $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ почав використовуватись як матеріал термолюмінесцентних (ТЛ) дозиметрів. У зв'язку з цим великий інтерес викликає вивчення характеру впливу різних видів радіаційного опромінення (гамма-, нейтронного, протонного) на їх експлуатаційні властивості. Не менший інтерес викликає роль різних генетичних дефектів на особливості змін фізичних властивостей опромінених кристалів. Зокрема, в роботах [1, 2] на прикладі домішок титану показано суттєвий вплив неконтрольованих домішок і власних дефектів, що створюють глибокі пастки, на дозиметричні характеристики стандартних дозиметрів типу ТЛД-500К,

розроблених на основі лейкосапфіру.

У представленій роботі досліджено відмінності впливу високоінтенсивного електронного опромінення на оптичні та люмінесцентні властивості кристалів $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ з технологічною домішкою ніобію в порівнянні з номінально чистим $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Методика експерименту

Досліджувались дві групи зразків спеціально нелегованих кристалів $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, вирощених видозміненим методом Кіропулоса [3] в різних умовах з використанням молібденових (група 1) та ніобієвих теплових екранів (група 2).

Опромінення зразків γ -квантами проводилось на джерелі Co^{60} з потужністю дози $7,35 \cdot 10^{-8}$ Гр/с. Опромінення електронами в присутності гальмівного γ -випромінювання здійснювалось на мікротроні М-30 щільністю флюенсу в інтервалі $2 \cdot 10^9$ ел/см²·с, з енергією 7 МеВ. Вимірювання спектрів оптичного пропускання проводилось на спектрофотометрі СФ-46 в інтервалі довжин хвиль 190-1100 нм, а фосфоресценції та ТЛ – в інтервалі температур 25-300 °С з швидкістю нагріву 0,5 °С/с, реєстрація кривих ТЛ проводилась фотоелектронним помножувачем ФЕУ-106 в режимі лічби фотонів.

Одержані результати та їх обговорення

Опромінення γ -квантами Co^{60} . Криві ТЛ зразків групи 1 та 2, опромінених дозами $1,2 \cdot 10^{-2}$ – $9,2 \cdot 10^{-2}$ Гр, приведено на рисунку 1. Як видно з рисунка, якщо для першої групи зразків ТЛ практично не спостерігається, то для другої групи зразків в інтервалі досліджених температур виділяються два піки термовисвічування при температурах 160 та 220 °С. При цих умовах опромінення світлосума піка при температурі 220 °С у 4 рази більша, ніж піка при 160 °С. Фосфоресценція після опромінення зразків лейкосапфіра на Co^{60} не спостерігається.

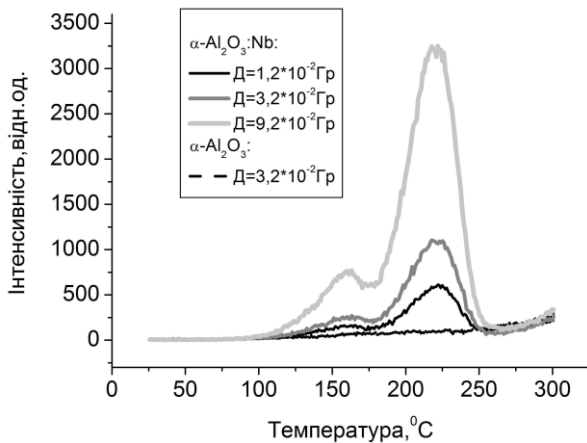


Рис. 1. Криві ТЛ зразків групи 1 та 2, опромінених джерелом Co^{60} .

Опромінення електронами. В результаті опромінення зразків обох груп прискореними електронами спостерігається довготривала фосфоресценція, подібна фосфоресценції рубіну при опроміненні на лінійному прискорювачі [4] та фосфоресценції кристалів LiF [5] і $Li_2B_4O_7$ [6], опромінених електронами на мікротроні М-30.

На рис. 2 показано відмінність кінетики фосфоресценції зразків груп 1 і 2, опромінених флюєнсом 10^{12} ел/см², інтенсивністю $3 \cdot 10^9$ ел/см²·с. Як видно з рисунка, світлосума фосфоресценції у зразках групи 2 приблизно в 6 разів більша, ніж у зразках групи 1. При цьому, кінетику спаду фосфоресценції зразків групи 1 можна апроксимувати двома експонентами: більш швидким спадом на початковій стадії (до ≈ 180 с) та більш повільним спадом у кінцевій частині (після 180 с). У

той же час у кінетиці фосфоресценції зразків групи 2 чітко виділяються три області спаду, які теж задовільно описуються експоненціальним законом з різними швидкостями.

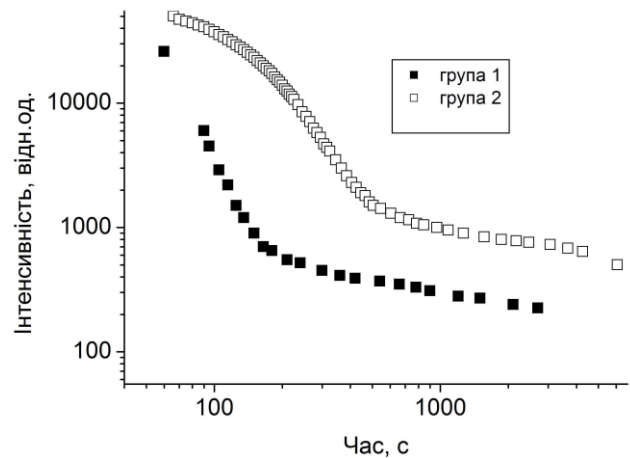


Рис. 2. Кінетика спаду фосфоресценції зразків групи 1 і 2, опромінених дозою 10^{12} ел/см².

Як відомо, кінетика фосфоресценції в твердих тілах носить рекомбінаційний характер і описується гіперболою Беккереля [7] з показником степені від 1 до 2 в залежності від характеру рекомбінації (моно- або бімолекулярна рекомбінація). Відмінність від гіперболи Беккереля кінетики спаду фосфоресценції в нашому випадку свідчить, очевидно, про наявність у кристалах електронних пасток різної глибини, причому в кристалах групи 2 їх щонайменше 3 типи.

Відмінності в спектрах ТЛ зразків обох груп, опромінених в однакових умовах прискореними електронами мікротрона, показано на рисунку 3. У зразках групи 1 у спектрах ТЛ спостерігаються два піки при температурах 135 та 265 °С. При зростанні доз до $\approx 10^{12}$ ел/см² спостерігається зростання, а при наступному збільшенні дози – зменшення висоти піків (рис. 3а). У зразках лейкосапфіру групи 2 теж спостерігаються два піки при температурах 160 та 220 °С (рис. 3б), що співпадає з температурним положенням ТЛ піків зразків групи 2, опромінених γ -квантами Co^{60} . Проте, співвідношення між першим і другим піком при опроміненні електронами, в порівнянні з опроміненням на джере-

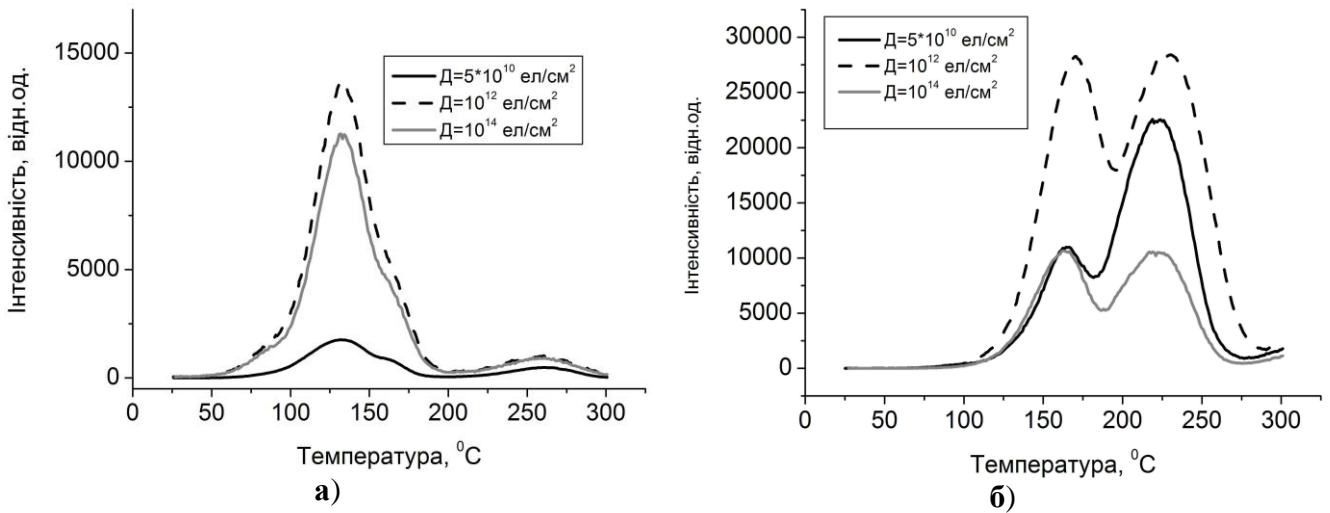


Рис. 3. Криві ТЛ зразків груп 1 (а) і 2 (б), опромінені в однакових умовах прискореними електронами.

лі Co^{60} , змінюється: видно значний ріст

групи 1, спостерігається немонотонний характер залежності висоти піків від дози опромінення: їх зростання до флюенсів $\approx 10^{12}$ ел/см²; в інтервалі 10^{12} - 10^{13} ел/см² величина піків не змінюється, а при наступному збільшенні дози спостерігається їх зменшення (рис. 3).

Вплив електронного опромінення на спектри оптичного поглинання досліджених кристалів показано на рисунку 4. Якщо для зразків групи 1 в інтервалі досліджених доз відсутніх змін не спостерігалось, що добре узгоджується з результатами досліджень впливу нейтронного опромінення на оптичне пропускання кристалів лейкосапфіру [8], в якій суттєві зміни спостерігались тільки після доз 10^{17} н/см², то в зразках групи 2 видимі зміни проявляються практично при дозах 10^{13} ел/см², а при дозах 10^{14} ел/см² спостерігається збільшення коефіцієнта поглинання майже у два рази на всьому дослідженому інтервалі довжин хвиль. Крім того, спостерігаються піки з максимумами при довжинах хвиль 320, 405, 460, 610 та 685 нм, очевидно викликані утворенням центрів забарвлення в процесі опромінення, зумовлених радіаційними дефектами. Відсутність подібних змін у зразках групи 1 дозволяє зробити висновок, що утворені радіаційні дефекти є комплексами, до складу яких входять атоми домішки.

висоти піку при $160^{\circ}C$. Як і для зразків

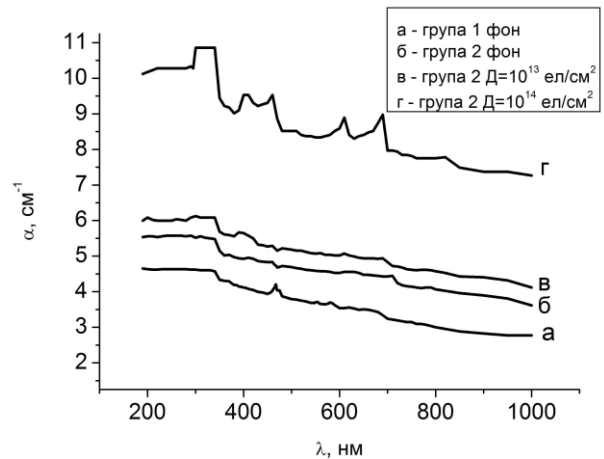


Рис. 4. Спектри оптичного поглинання зразків груп 1 і 2.

Суттєво відмінні результати змін люмінесцентних та оптичних властивостей кристалів лейкосапфіру, вирощених з застосуванням молібденового та ніобієвого теплових екранів. Результати опромінення, свідчать про різну дефектну структуру досліджених зразків. Логічно припустити, що ця відмінність полягає в неконтрольованому легуванні при рості кристалів $\alpha-Al_2O_3$ через газову фазу атомами Nb кристалів. Отже, використання теплових екранів з ніобію погіршує їх оптичні якості. З іншого боку, одержані результати вказують, що завдяки більшій чутливості до іонізуючого випромінювання кристалів $\alpha-Al_2O_3:Nb$, можливе їх використання як нового матеріалу для ТЛ-дозиметрії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кортвов В.С., Мильман И.И., Никифоров С.В. Особенности кинетики термостимулированной люминесценции кристаллов $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ с дефектами // Физика твердого тела. – 1997. – Т.39. – № 9. – С. 1538-1543.
2. Мильман И.И., Моисейкин Е.В., Никифоров С.В., Соловьев С.В., Ревков И.Г., Литовченко Е.Н. Роль глубоких ловушек в люминесценции анион-дефектных кристаллов $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ // ФТТ. – 2008. – Т.50. – С. 1991-1995.
3. Блецкан Д.И., Лукьянчук А.Р., Пекар Я.М. Исследование собственных и примесных точечных дефектов в сапфировых подложках люминесцентными методами // Материалы электроники. – 2006. – № 3. – С. 59-64.
4. Акимович И.Н., Гришаев И.А., Стратенко В.А. Возникновение фосфоресценции при облучении рубина // УФЖ. – 1972. – Т.17. – № 7. – С. 1201-1203.
5. Окунева Т.О., Маслюк В.Т., Мегела І.Г. Фосфоресценція опромінених на мікротроні М-30 кристалів LiF // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика. – 2011. – Вып. 29. – С. 115-118.
6. Окунева Т.О., Маслюк В.Т., Мегела І.Г., Головей В.М., Біров М.М. Люмінесцентні властивості кристалів $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{:Cu}$ та $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7\text{:Mn}$ в залежності від типу та умов опромінення іонізуючими частинками // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика. – 2011. – Вып. 30. – С. 52-56.
7. Парфианович И.А. Люминесценция кристаллов. – М.: Наука, 1988. – С. 155-158.
8. Абдукадырова И.Х. Влияние облучения нейтронами на оптические спектры кристаллов лейкосапфира // Неорганические материалы – 2008. – Т. 44. – № 7. – С. 825-829.

Стаття надійшла до редакції 30.05.2013

T.O. Okunieva¹, V.T. Maslyuk¹, I.G. Megela¹, J.M. Pekar², V.J. Pekar²

¹Institute of Electron Physics, Ukr. Nat. Acad. Sci.,
Universytetska Str., 21, 88000, Uzhhorod

²LLC "Tehnocristal-Corund"
Granitna Str., 5a, 88000, Uzhhorod

STUDY OF THE EFFECT OF ELECTRON IRRADIATION ON OPTICAL AND LUMINESCENT PROPERTIES OF α -SAPPHIRE CRISTALS UNDOPE AND DOPED WITH NIOBIUM

The influence of different electron irradiation with energy of 7 MeV and γ -rays of Co^{60} on the optical and luminescent properties of α -sapphire crystals were investigated, which are grown up by Kyropoulos modified method using molybdenum and niobium screens. It is shown that the use of niobium screens impairs the optical quality of the crystals and same time increases the thermoluminescence output signals that can be used for dosimetry.

Keywords: thermoluminescence, phosphorescence, optical absorption, α -sapphire, electron and γ -irradiation.

Т.А. Окунева¹, В.Т. Маслюк¹, И.Г. Мегела¹, Я.М. Пекар², В.Я. Пекар²

¹Институт электронной физики НАН Украины

ул. Университетская, 21, 88000, Ужгород

²ТОВ "Технокристалл-корунд"

ул. Гранитная, 5а, 88000, Ужгород

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ОПТИЧЕСКИЕ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА НЕЛЕГИРОВАННЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ НИОБИЕМ КРИСТАЛЛОВ ЛЕЙКОСАПФИРА

Исследовано различие влияния облучения электронами с энергией 7 МэВ и γ -квантами Co^{60} на оптические и люминесцентные свойства кристаллов лейкосапфира, выращенных видоизмененным методом Киропулоса с использованием молибденовых и ниобиевых экранов. Показано, что использование ниобиевых экранов ухудшает оптическое качество выращенных кристаллов и одновременно увеличивает выходы сигналов термолюминесценции, что может быть использовано для дозиметрии.

Ключевые слова: термолюминесценция, фосфоресценция, оптическое поглощение, лейкосапфир, электронное и γ -облучение.