УДК 535.377

Т.О. Окунєва, В.Т. Маслюк, І.Г. Мегела, В.М. Головей, М.М. Біров

Інститут електронної фізики НАН України, 88017, Ужгород, вул. Університетська, 21

e-mail: nuclear@email.uz.ua

**ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ ВЛАСТИВОСТІ КРИСТАЛІВ Li2B4O7:Cu ТА Li2B4O7:Mn В ЗАЛЕЖНОСТІ
ВІД ТИПУ ТА УМОВ ОПРОМІНЕННЯ
ІОНІЗУЮЧИМИ ЧАСТИНКАМИ**

Досліджено вплив інтенсивності та дози опромінення електронами з енергіями 9,5 та 14,5 МеВ, а також опромінення фотонами від Со60, швидкими та повільними нейтронами Pu-Be джерела на фосфоресценцію при кімнатній температурі та термолюмінесценцію нелегованих та легованих міддю та марганцем кристалів тетраборату літію.

**Ключові слова**: тетраборат літію, термолюмінесценція, дозиметрія, фосфоресценція.

**Вступ**

Тетраборат літію почав широко використовуватись поряд з лейкосапфіром (Al2O3) [1] та кристалами на основі LiF [2] для термостимульованої люмінесцентної (ТСЛ) дозиметрії іонізуючих випромі­нювань, а також нейтронів, які, при взаємодії з речовиною, в загальному випадку, не є іонізуючими частинками [3]. Реєстрація нейтронів термолюмінесцент­ни­ми дозиметрами здійснюється за рахунок ядерних реакцій з Li та B, що супроводжуються утворенням вторинних іонізуючих частинок, вихід яких залежить від енергії нейтронів та ізотопного складу Li та B. Очевидно, що такий процес супроводжується, крім утворення іоні­зуючих частинок, також утворенням радіа­цій­них дефектів у вигляді зміщених ато­мів, які, в свою чергу, змінюють термолю­мі­несцентні властивості опроміненого ма­те­ріалу [4]. В зв’язку з цим одним із актуальних питань є дослідження впливу на дозиметричні властивості кристалів тет­ра­борату літію високоенергетичних елект­ронів, які при взаємодії з кристалами, крім іонізації, утворюють також радіаційні дефекти.

**Експеримент**

Синтез вихідної шихти і вирощування монокристалів LTB:Cu, LTB:Mn та нелегованого LTB проводили в платинових тиглях на повітрі без перезавантаження. Вирощування моно­кристалів здійснювали за методом Чохральського на установках НХ‑620 і ,,Донец‑1”. З урахуванням інконгруент­но­го випаровування розплаву LTB, його проводили зі складів з надлишком В2О3 до 0,5 мол.%. Домішки вводили у вихідну шихту у вигляді оксидів CuO і MnO2. Перед початком затравлювання розплав вихідної шихти для досягнення стабілізації його складу витримували при ~ 1223 К протягом 15‑20 год. Швидкість витягу­ван­ня складала 3‑5 мм⋅добу-1, швидкість обер­тан­ня – 4‑10 об⋅хв-1, аксіальний темпера­тур­ний градієнт на межі розділу кристал‑розплав – 3‑5 К⋅мм‑1. Для змен­шення термічних напруг відірвані від розплаву кристали відпалювали протягом 12‑24 год., після чого охолоджували зі швидкістю 20 К⋅год‑1 [5].

Вимірювання термолюмінесценції проводилось на установці описаній в роботі [6]. Для вимірювання інтенсивності люмінесцентного свічення було викори­ста­но фотоелектронний помножувач типу ФЕП-136 у режимі лічби фотонів. Криві ТСЛ одержувались в результаті лінійного нагріву досліджуваних зразків зі швид­кіс­тю 0,5 0С/сек до 300 0С. Контроль темпе­ра­ту­ри під час нагріву здійснювався за допомогою хромель-алюмелевої термопа­ри.

Опромінення кристалів тетраборату літію здійснювались: гамма-квантами джере­ла Со60 потужністю 9,8 мкКл/кг, змішаними полями гамма-кванти плюс швидкі нейтрони, гамма-кванти плюс теплові нейтрони на радіаційному стенді на основі плутоній-берилієвого джерела ІБН-8 [7] і високоінтенсивними електрон­ни­ми та гамма пучками мікротрона М-30.

**Одержані результати та їх обговорення**

*Опромінення гамма-квантами та нейтронами від джерел*. На рисунку 1 показано криві термовисвічування зразка Li2B4O7:Mn, опроміненого гамма-квантами Со60 (а), змішаним радіаційним полем з швид­ких нейтронів та гамма-квантів Pu-Be джерела (б) і полем, створеним у радіацій­но­му стенді [7] шляхом сповільнення швидких нейтронів, до складу якого входять потоки швидких і повільних нейтро­нів та гама-квантів (в). Як видно з рисунка, для всіх випадків опромінення температурне положення обох піків співпа­дає, різниця полягає тільки в інтенсив­ності їх висвічування. Для опро­мі­нен­ня у змішаному полі (рис. 1в) показано залежність площі під піком кривої термо­висвічування при температурі 210 0С від часу опромінення (рис. 1г). Як видно з рисун­ка, спостерігається лінійна залеж­ність площі піка від часу опромінення (набраної дози), що свідчить про можли­вість використання таких зразків для дозиметрії змішаних гамма-нейтронних полів. Проте, враховуючи величину ра­діаційно зважуючого фактору (для нейтронів залежно від їх енергії останній може приймати значення від 10 до 20), для визначення еквівалентної дози необхідно визначати поглинуту дозу як від нейтронів, так і від гама-квантів.

|  |
| --- |
|  а) |
| б) |
| в) |
| г) |
| Рис. 1. Криві термовисвічування зразка Li2B4O7:Mn, опроміненого гамма-квантами Со60 (а), змішаним радіаційним полем зі швидких нейтронів та гамма-квантів Pu-Be джерела (б) і полем, до складу якого входять потоки швидких, повільних нейтронів та гамма-квантів (в); г - залежність площі під піком кривої термовисвічування при температурі 210 0С від часу опромінення зразка. |
| рис**а** |
| рис**б** |
| рис**в** |
| Рис. 2. Криві термолюмінесценції нелегованого кристала Li2B4O7 (а) та легованих кристалів Li2B4O7:Cu (б), Li2B4O7:Mn (в) після опромінення електронним пучком мікротрона М-30 флюєнсом 1011 ел/см2 різними щільностями флюєнсу. |

*Опромінення на мікротроні.* Типові криві термолюмінесценції нелегованого кристала Li2B4O7 та легованих кристалів Li2B4O7:Cu, Li2B4O7:Mn, після опромінення електронним пучком мікротрона М-30 флюєнсом 1011 ел/см2, приведені на рисун­ку 2. В нелегованих кристалах тетраборату літію спостерігаються три піки ТСЛ при температурах 150 0С, 206 0С, 240 0С. Очевид­но, що ці піки пов’язані з неконтро­льова­ними дефектами, які створюють рівні прилипання. Що стосується центрів випро­мінювальної рекомбінації, природа їх також наразі невідома. Інтенсивність свічення ТСЛ, в порівняні з легованими кристалами, менша приблизно у 400 раз. У опромінених кристалах Li2B4O7:Cu, Li2B4O7:Mn спостерігається по два макси­муми при температурі 110 0С та 210 0С.

Залежність кривих термолюмі­несцен­ції зразків Li2B4O7:Cu та Li2B4O7:Mn від флюєн­су електронів показано на рисунку 3. При збільшенні флюєнса спостерігаєть­ся як ріст площі під піком, так і інтенсивність його максимуму і зсув вер­ши­ни останнього в область менших температур, що вказує на кінетику ТСЛ, яка описується квадратичною залежністю від початкової концентрації накопичених на пастках електронів ~ *n02.*

Як і у випадку опромінення для LiF, у зразках на основі Li2B4O7:Cu та Li2B4O7:Mn виявлено довготривалу фосфо­ресценцію, величина якої суттєво залежить як від дози опромінення, так і її потужності. На рисунку 4 наведено криві затухання фосфоресценції зразків Li2B4O7:Cu (а) та Li2B4O7:Mn (б), опромінених рівними інтегральними потоками електронів 1011 ел/см2 при різній щільності потоку.

Як видно з рисунка, інтенсивність свічення фосфоресценції при збільшенні щільності потоку зростає, в той час як світлосума кривих термовисвічування для цих же зразків не змінюється (рис. 2). З аналізу одержаних результатів слідує, що затухання фосфоресценції з часом добре узгоджується з гіперболічним законом, на основі чого можна зробити висновок про її рекомбінаційну природу.

|  |  |
| --- | --- |
| рис**а** | рис**а** |
| рис**б** | рис**б** |
| Рис. 3. Залежність кривих термолюмінесценції зразків Li2B4O7:Cu (а) та Li2B4O7:Mn (б) від флюєнсу електронів, опромінених електронним пучком мікротрона М-30 однаковою інтенсивністю флюєнсу. | Рис. 4. Криві затухання фосфоресценції зразків Li2B4O7:Cu (а) та Li2B4O7:Mn (б), опромінених рівними інтегральними потоками електронів 1011ел/см2 при різній щільності потоку. |

**Висновки**

Прояв фосфоресценції в опромінених високоінтенсивними пучками електронів і гамма-квантів, яка не спостерігається при опроміненні низькоактивними джерелами, може бути пояснено наявністю в досліджу­ваних зразках Li2B4O7:Cu та Li2B4O7:Mn

неглибоких рівнів прилипання, на які, при дії іонізуючого опромінення, потрапляють електрони, які при кімнатній температурі за рахунок теплового викидання перехо­дять в зону провідності з наступною їх рекомбінацією через центри свічення (Cu, Mn).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кортов В.С., Мильман И.И., Никифо­ров С.В. Особенности кинетики термо­сти­мулированной люминесцен­ции кристаллов α-Al2O3 с дефектами // Физика твердого тела. – 1997. – Т.39. – №9. – С. 1538–1543.
2. Weinstein M., German U., Alfassi Z.B. On neutron-gamma mixed field dosymetry with LiF:Mg,Ti at radiation protection dose levels // Rad. Prot. Dosym. – 2006. – Vol. 119. – No. 1–4. – P. 314–318.
3. Белоконь Н.Г., Корнєєва В.В. Термо­люмінесцентна дозиметрія: напрямки розвитку // Український Радіологічний Журнал. – 2004. – № 12. – С. 88–94.
4. Xiong ZhengYe, Zhang ChunXiang. Thermoluminescence characteristics of Li2B4O7:Cu, Ag,P // Chinese Science Bulletin. – 2007. – Vol. 52. – No. 13. – P. 1776–1779.
5. Головей В.М. Получение моно­кристал­лов тетрабората лития / В.М. Головей // Кван­товая электроника. – 1993. – № 44. – С. 103–110.
6. Lyamayev V.I. A low-cost micro­controller-based measurement system for fractional glow technique / V.I. Lya­mayev // Meas. Sci. Technol. – 2006. – Vol. 17. – P. 75–80.
7. Окунева Т.А., Парлаг О.А., Маслюк В.Т., Стець М.В., Гошовсь­кий М.В., Ганич П.П., Лямаєв В.І., Мегела І.Г., Головей В.М., Биров М.М., Щербинин К.Р., Костенко В.В., При­сяжнюк А.А., Зелинський В.О. Ра­диационный стенд ИЭФ НАНУ для реакторной дозиметри // Тезисы докла­дов VIII конференции по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям (ННЦ ХФТИ), Харьков, 22-26 февраля 2010 г. – Харьков. – 2010. – С. 71.

Стаття надійшла до pедакції 29.05.2011

T.O. Okunieva, V.T. Maslyuk, I.G. Megela, V.M. Holovej, M.M. Birov

Institute of Electron Physics of NAS of Ukraine, 88017, Uzhhorod, Universytetska Str., 21

**DEPENDENCE OF LUMINESCENT PROPERTIES Li2B4O7:Cu AND Li2B4O7:Mn CRYSTALS ON THE TYPE AND CONDITION OF IONIZING**

Influence of intensity and dose of irradiation by 9,5 and 14,5 MeV electrons, 60Co photons, fast and slow neutrons from Pu-Be source on room temperature phosphorescent and thermoluminescent properties of Cu and Mn-doped lithium tetraborate crystals has been studied.

**Key words**: lithium tetraborate, thermoluminescence, dosimetry, phosphorescence.

Т.О. Окунева, В.Т. Маслюк, И.Г. Мегела,
В.М. Головей, М.М. Биров

Институт электронной физики НАН Украины, 88017, Ужгород, ул. Университетская, 21

**ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ Li2B4O7:Cu И Li2B4O7:Mn В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА И УСЛОВИЙ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩИМИ ЧАСТИЦАМИ**

Исследовано влияние интенсивности и дозы облучения электронами с энергиями 9,5 и 14,5 МэВ, а также облучение гамма квантами от источника Со60, быстрыми и медленными нейтронами Pu-Be источника на фосфо­ ресценцию при комнатной температуре и термолюминесценцию нелеги­ рованных и легированных медью и марганцем кристаллов тетрабората лития.

**Ключевые слова:** тетраборат лития,термолюминесценция, дозиметрия, фосфоресценция.