

УДК 535.377

Т.О. Окунєва, В.Т. Маслюк, І.Г. Мегела

Інститут електронної фізики НАН України, 88017, Ужгород, вул. Університетська, 21
e-mail адреса: nuclear@email.uz.ua

ФОСФОРЕСЦЕНЦІЯ ОПРОМІНЕНИХ НА МІКРОТРОНІ М-30 КРИСТАЛІВ LiF

У стандартних дозиметричних кристалах на основі фториду літію, активованих атомами магнію та титану, досліджено явище фосфоресценції, яке виникає при опроміненні високоінтенсивними електронними пучками мікротрона М-30. Вивчені залежності свічення фосфоресценції та кривих термовисвічування кристалів LiF від інтенсивності і дози опромінення.

Ключові слова: термолюмінесценція, фосфоресценція, дозиметрія.

Вступ

Термолюмінесцентна дозиметрія (ТЛД) з використанням кристалофосфорів на основі тетраборату літію ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$), фториду літію (LiF) та корунду (Al_2O_3) широко використовується для дозиметрії гамма [1] та нейтронного випромінювань [2], а також моніторингу зовнішнього середовища [3]. В той же час практично не вивчено можливість використання ТЛД для електронного опромінення як радіонуклідів, так і електронних прискорювачів, що особливо важливе при променевої терапії електронними прискорювачами ракових пухлин.

Експеримент

Для дослідження термолюмінесцентної дозиметрії були використані стандартні дозиметри на основі LiF, леговані атомами Mg та Ti. Опромінювались досліджувані зразки на прискорювачі електронів – мікротроні М-30 ІЕФ НАН України енергіями 9,5 та 14,5 МеВ різними інтенсивностями флюєнсу та дозами опромінення у розсіяному полі для зменшення інтенсивності пучка електронів за допомогою тонких фольг [4]. Під час опромінення не здійснювалось додаткове охолодження зразка, його температура контролювалась мідь-константановою термопарою, яка зафіксувала підвищення

температури зразка під час опромінення на 1°C .

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

Одержані результати та їх обговорення

В результаті опромінення кристалів LiF високоінтенсивним електронним пучком при кімнатній температурі спостерігається довготривала фосфоресценція, яка залежить від дози опромінення, а також від інтенсивності флюєнсу. На рис. 1 показано кінетику спаду інтенсивності свічення кристалів LiF, опромінених однаковими флюєнсами $\Phi=4,3 \cdot 10^{11}$ ел/см² з енергією $E=9,5$ МеВ при щільностях флюєнсу $1,35 \cdot 10^9$; $2,7 \cdot 10^9$; $1,35 \cdot 10^{10}$ ел/см²·с.

Як видно з рис. 1, при збільшенні інтенсивності опромінення свічення фосфоресценції збільшується.

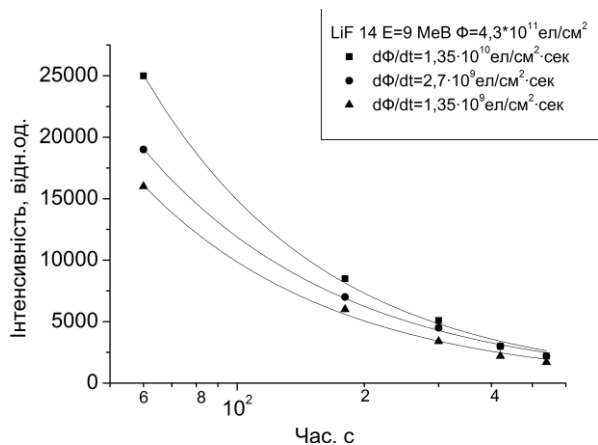


Рис. 1. Спад фосфоресценції кристала LiF після опромінення електронним пучком на мікротроні М-30 різними щільностями флюєнсу

Залежність кінетики спаду фосфоресценції від дози опромінення електронами з енергією 14,5 МеВ з однаковою інтенсивністю $d\Phi/dt = 3,8 \cdot 10^9$ ел/см²·с показано на рис. 2. Представлені результати свідчать, що свічення фосфоресценції збільшується також при збільшенні дози опромінення. Як показав чисельний аналіз, криві спаду фосфоресценції задовільно описуються гіперболічним законом, що свідчить про кристалічний характер свічення через відповідні центри випромінювальної рекомбінації.

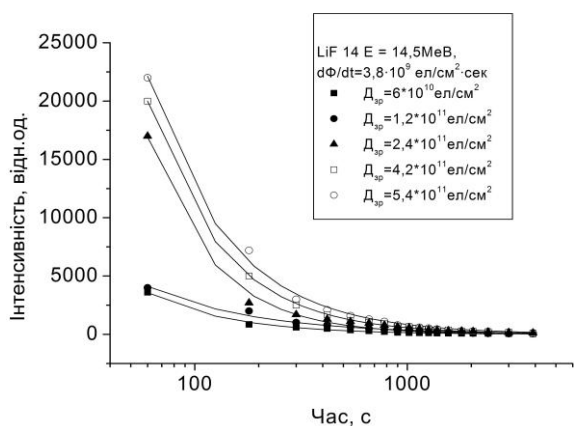


Рис. 2. Спад фосфоресценції кристала LiF після опромінення електронним пучком на мікротроні М-30 різними флюєнсами.

Типові криві термовисвічування (КТВ) кристалів LiF, опромінених електронами з енергією 14,5 МеВ різними дозами опромінення при інтенсивності флюєнсу $3,8 \cdot 10^9$ ел/см²·с, наведені на

рисунку 3. Як видно з рисунка, при нагріві до 300⁰С спостерігаються чотири чітко виражені піки з максимумами при температурах приблизно 110⁰С, 150⁰С, 220⁰С, 280⁰С, інтенсивність кожного з яких пропорційна дозі опромінення. На кожному з піків спостерігається зсув максимуму піка в область нижчих температур при збільшенні дози опромінення (концентрації n_0 початкової кількості електронів на рівнях прилипання). Це свідчить, що КТВ підлягають кінетиці другого порядку, тобто інтенсивність КТВ $\sim n_0^2$.

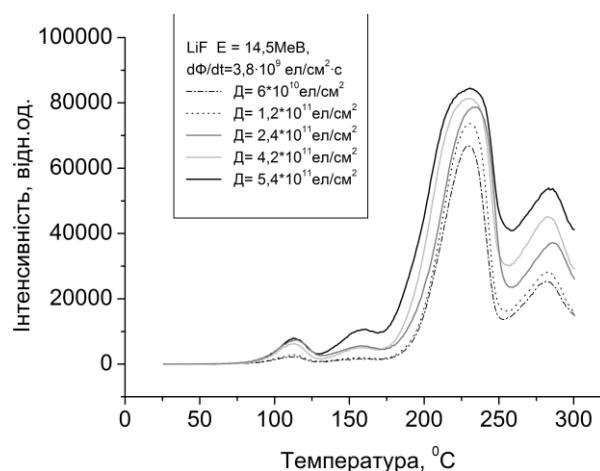


Рис. 3. Крива термовисвічування кристала після опромінення електронним пучком на мікротроні М-30 різними флюєнсами.

Одержані результати свідчать, що для дозиметрії високоінтенсивних електронних пучків може бути використана сумарна світлосума окремо кожного з піків при 220⁰С або 280⁰С. На рисунку 4 показано залежність площі піків КТВ при 220⁰С (а) або 280⁰С (б) від флюєнса електронів. Як видно, в інтервалі досліджених флюєнсів опромінення, що відповідає інтервалу 20,4-183,6 Гр, спостерігається лінійна залежність. Лінійна залежність від дози опромінення спостерігається також для сумарної світлосуми спаду кривої фосфоресценції при умові однакової інтенсивності опромінення, що показано на рис. 5. Світлосума піків при нижчих температурах суттєво залежить від періоду витримки зразка після опромінення до початку вимірювань.

Причиною довготривалої фосфоресценції при кімнатній температурі опромінених високоінтенсивними електронними пучками кристалів LiF очевидно є наявність, крім глибоких рівнів прилипання, також більш мілких рівнів прилипання.

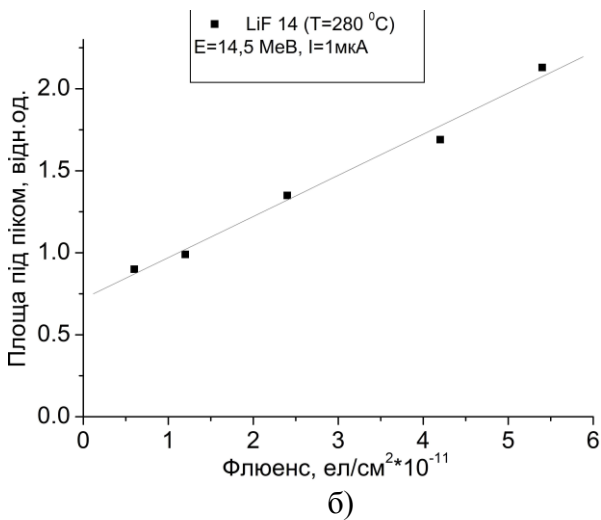
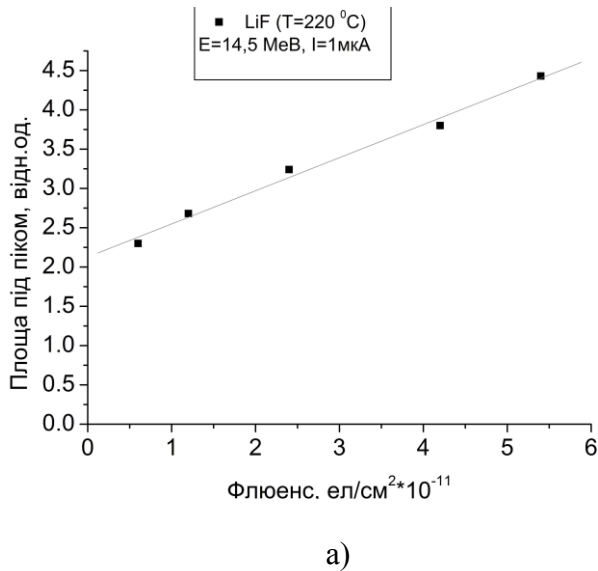


Рис. 4. Залежність площі піків КТВ при 220⁰С (а) або 280⁰С (б) від флюенсу електронів.

Суттєва залежність свічення фосфоресценції від інтенсивності опромінення свідчить, що висвічування з них проходить вже в процесі випромінювання.

При опроміненні не інтенсивними пучками швидкість накопичення носіїв заряду на цих рівнях внаслідок цього висвічування мала. Цікаво, що спроба відпалити фосфоресценцію опромінених зразків при температурі 40⁰С призвела до цілком протилежних результатів. Після витримки протягом 2-3 хвилин при цій температурі свічення опромінених зразків збільшувалось приблизно у 2 рази. Це свідчить про багаторівневу систему рівнів прилипання.

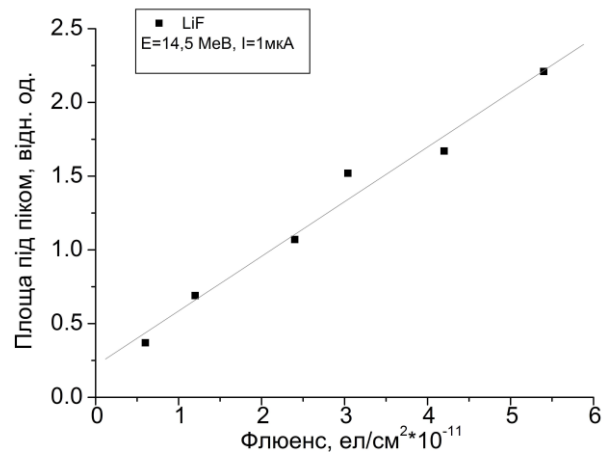


Рис. 5. Залежність площі сумарної світлосуми спаду кривої фосфоресценції кристала LiF від дози опромінення при умові однакової інтенсивності опромінення.

Висновки

Таким чином, можна заключити, що якщо природа рівнів випромінювальної рекомбінації відома, для кристала LiF їх, зокрема, створюють атоми вуглецю, то природа рівнів прилипання до теперішнього часу не виявлена. Найімовірніше ними є власні неконтрольовані дефекти, що утворюються в процесі росту, а тільки найпростіших точкових власних структурних дефектів може бути вісім типів. Якщо ще взяти неконтрольовані домішки, то їх може бути значно більше.

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. Weinstein M., German U., Alfassi Z.F. On neutron-gamma mixed field dosimetry with LiF:Mg,Ti at radiation protection dose levels // Rad. Prot. Dosimetry. – 2006. – Vol. 119. – № 1-4. – Pp. 314-318.
3. Ranogajec-Komor M. Thermoluminescence Dosimetry - Application in Environmental Monitoring // Radiation Safety Management. – 2002. – Vol.2. – №.1. – Pp. 2-16.
4. Окунева Т.О., Мегела И.Г., Маслюк В.Т., Парлаг О.А., Гайниш Й.Й., Питченко Г.Ф., Турховский А.Н., Романюк Н.И. Дозиметрические материалы в интенсивных радиационных полях: оптические и дозиметрические свойства // Тезисы докладов IX конференции по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям (ННЦ ХФТИ), Харьков, 21-25 февраля 2011 г. – Харьков. – 2011. – С. 98.
5. Lyamayev V. I. A low-cost microcontroller-based measurement system for fractional glow technique // Meas. Sci. Technol. – 2006. – Vol. 17. – P. 75-80.

Стаття надійшла до редакції 29.05.2011

T.O. Okunieva, V.T. Maslyuk, I.G. Megela

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

PHOSPHORESCENCE OF LiF CRYSTALS IRRADIATED ON MICROTROTRON M-30

Phosphorescence in standard dosimeter crystals based on lithium fluoride, activated by magnesium and titanium atoms, caused by irradiation with high-intensity electrons from microtron M-30 has been investigated. Dependence of phosphorescent properties and glow curves of LiF crystals on the fluence and dose of irradiation are analyzed.

Key words: thermoluminescence, phosphorescence, dosimetry.

T.O. Окунева, В.Т. Маслюк, И.Г. Мегела

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

ФОСФОРЕСЦЕНЦИЯ ОБЛУЧЕННЫХ НА МИКРОТРОНЕ М-30 КРИСТАЛЛОВ LiF

Для стандартных дозиметрических кристаллов на основе фторида лития, активированных атомами магния и титана, исследовано явление фосфоресценции, которое возникает при облучении высокоинтенсивными электронными пучками на микротроне М-30. Исследованы зависимости свечения фосфоресценции и кривых термовысвечивания кристаллов LiF от интенсивности и дозы облучения.

Ключевые слова: термолуминесценция, фосфоресценция, дозиметрия.