

## УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОСТИМУЛЬОВАНОЇ ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ ТОНКОПЛІВКОВИХ СТРУКТУР

**В.І.Лямаєв**

Інститут електронної фізики НАН України,  
вул. Університетська 21, Ужгород, 88000

Розроблено та виготовлено автоматизовану установку для дослідження ТСЛ тонкоплівкових структур у широкому діапазоні температур (20–500 °С) та швидкостей лінійного нагрівання. Застосовано резистивний метод нагрівання з використанням металевих підкладок в ролі нагрівача. Мала теплоємність нагрівача з плівкою та добрий тепловий контакт між ними дозволяють проводити виміри на великих швидкостях лінійного нагріву – більше 100 К/с. Для підтримки лінійного закону нагрівання створено електронну систему керування нагріванням. Реєстрація вимірюваних величин здійснюється за допомогою інтерфейсної плати, встановленої в комп'ютері. Введення результатів вимірювань в ЕОМ дає можливість їх оперативної обробки. Проведений ряд пробних вимірювань ТСЛ плівок LiF:Mg,Ti.

Для ряду дозиметричних вимірювань, які базуються на термостимульованій люмінесценції (ТСЛ), поряд з моно- та полікристалами [1] використовуються тонкі шари та тонкі плівки різних речовин [2–5].

Нами було розроблено та виготовлено автоматизовану установку для дослідження ТСЛ тонких плівок. Використовується відомий метод лінійного нагрівання з реєстрацією світлового випромінювання за допомогою фотоелектронного помножувача (ФЕП). Об'єктами дослідження служать тонкі плівки, наплені на металеві підкладки методом термічного випаровування у вакуумі. Підкладка також виконує функцію нагрівача. Для цього через неї пропускаються імпульси змінного струму з частотою в декілька кілогерц. Перевагою даного методу нагрівання є те, що мала теплоємність нагрівача з плівкою та добрий тепловий контакт між ними дозволяють проводити виміри на великих швидкостях лінійного нагрівання – більше 100 К/с. Це підвищує чутливість методу за рахунок зростання інтенсивності піків кривої ТСЛ при збільшенні швидкості нагрівання [1,

7]. Крім того мала інертність системи нагрівання також дозволяє реалізувати більш складні закони нагрівання з використанням горизонтальних ділянок на кривій нагрівання.

На рис. 1 зображено блок-схему установки. Підкладка 1 являє собою смужку з нікелевої фольги товщиною 0,07 мм, що закріплюється у струмопідвідних затискачах 2. При дослідженні ТСЛ у процесі нагрівання особливу увагу слід приділяти однорідності прогріву по об'єму досліджуваних зразків [6]. Так як в нашому випадку мова йде про тонкі плівки, то фактично для нас важлива однорідність нагрівання по площі підкладки. Оскільки температура струмопідвідних затискачів близька до кімнатної, це призводить до значного температурного градієнту по довжині підкладки в процесі нагрівання за рахунок суттєвого тепловідводу по краях. Для зменшення цього негативного ефекту було експериментально підібрано оптимальну форму підкладки у вигляді видовженого ромба. Зменшення площі перерізу і відповідне збільшення розсіюваної потужності при віддаленні від центра підкладки до затискачів дещо

компенсує вищезгаданий температурний градієнт. Також для зменшення впливу цього негативного ефекту було використано діафрагму, яка пропускає на фотокатод ФЕП світлове випромінювання лише з центральної частини підкладки.

При дослідженні ТСЛ дуже важливо також підтримувати сталу величину швидкості нагрівання [7]. Недотримання цієї вимоги приводить до суттєвих спотворень кривої ТСЛ і, як наслідок, неправильної інтерпретації одержаних результатів. Для цього було створено електронний блок керування нагріванням зі зворотнім зв'язком по температурі. Імпульси струму через підкладку подаються з вторинної обмотки трансформатора 3, на первинну обмотку якого подаються пакки прямокутних імпульсів з виходу потужного генератора 4. Контроль температури здійснюється за допомогою хромель-копелевої термопары 5 з малим об'ємом робочого спаю. Для кращого теплового контакту з підкладкою спай термопары попередньо змащується силіконовим маслом. Е. р. с. термопары підсилюється підсилювачем 6, з виходу якого сигнал надходить на вхід компаратора 7 та на один з входів АЦП інтерфейсної плати 12. На інший вхід компаратора надходить сигнал з виходу генератора лінійно зростаючої напруги (ГЛЗН) 8. Запуск, зупинка та перезавантаження генератора здійснюється програмно за допомогою системи керування через LPT-порт комп'ютера. Вихід компаратора контролює роботу потужного генератора нагрівання 4.

У процесі нагрівання підсилена е. р. с. термопары на одному з входів компаратора порівнюється з лінійно зростаючою напругою на іншому вході. Якщо в деякий момент часу вона стане меншою, то компаратор переключиться і ввімкне генератор нагріву. Так буде тривати до того часу, поки підсилена е. р. с. термопары не стане більшою за сигнал на виході ГЛЗН, тоді компаратор переключиться в зворотнє положення і припинить нагрівання. Підкладка почне охолоджуватись, поки е. р. с. термопары знову не стане меншою

за лінійно зростаючу напругу. Таким чином через нікелеву фольгу пропускаються пакки імпульсів амплітудою декілька десятків ампер, частотою  $\sim 4$  кГц і тривалістю декілька періодів. Завдяки великому коефіцієнту підсилення та високій швидкодії компаратора зміна е. р. с. термопары в часі майже не відрізняється від лінійної, а отже і температура зразка з часом змінюється майже лінійно. Невелике відхилення від лінійності в процесі нагрівання зумовлене незначною нелінійністю залежності термо-е. р. с. від температури для хромель-копелевої термопары.

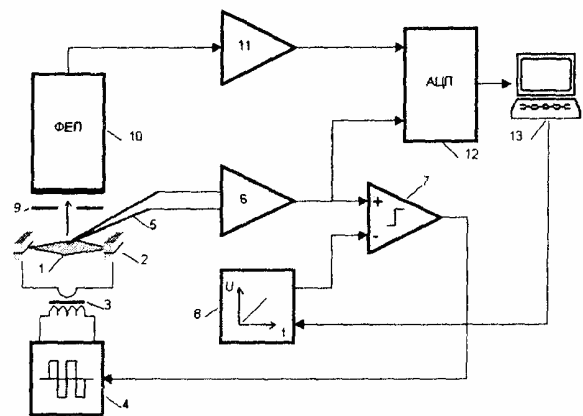


Рис. 1. Блок-схема установки для дослідження ТСЛ тонкоплівкових структур.

1 – досліджуваний зразок; 2 – струмопідвідні затискачі; 3 – трансформатор; 4 – потужний генератор нагріву; 5 – термопара; 6 – підсилювач е. р. с. термопары; 7 – компаратор; 8 – генератор лінійно зростаючої напруги; 9 – діафрагма; 10 – ФЕП; 11 – перетворювач фотострум-напруга; 12 – АЦП; 13 – комп'ютер.

Система реєстрації люмінесційного свічення складається з діафрагми 9, ФЕП 10 та перетворювача фотострум-напруга 11, коефіцієнт перетворення якого становить  $10^8$  В/А. Сигнал, пропорційний інтенсивності люмінесценції, з виходу перетворювача надходить на один з входів АЦП 12. В ролі АЦП використовується інтерфейсна плата типу ET1224. Вона містить в собі 16-канальний коммутатор аналогових входів, попередній підсилювач з програмно змінним коефіцієнтом підсилення та 12-розрядний

АЦП з часом перетворення 3 мкс. Обмін даними з комп'ютером 13 здійснюється через інтерфейс ISA-шини.

Розроблена на мові Turbo Pascal (з елементами асемблера) програма дає можливість записувати, зберігати та обробляти дані температури, інтенсивності ТСЛ та часу реєстрації. Таким чином, кожна крива висвічування зберігається у вигляді текстового файлу, який без додаткових змін можна імпортувати у програму Origin для побудови графіків та подальшої обробки.

Дана установка дозволяє проводити виміри ТСЛ в діпазоні температур 20–500 °С та швидкостей лінійного нагрівання 0,1–100 К/с. Перевірку лінійності закону нагрівання можна здійснити для кожного виміру ТСЛ, оскільки у файлі зберігаються всі три вимірювані величини: температура, час, інтенсивність.

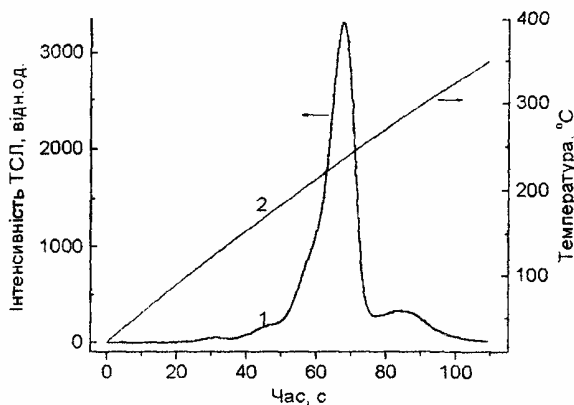


Рис. 2. ТСЛ об'ємних зразків LiF:Mg,Ti з комплексу ДТУ-01 (1) та зміна температури протягом часу нагрівання (2).

Апробацію установки здійснено на об'ємних зразках LiF:Mg,Ti з комплексу дозиметричної установки ДТУ-01. Для цього замість тонкої нікелевої фольги в струмопідвідні затискачі закріплювалась титанова смужка товщиною 0,5 мм і шириною 7 мм, на яку встановлювалися об'ємні зразки. Опромінювання здійс-

нювалось протягом 1 хв. за допомогою рентгенівської трубки з мідним антикатодом при робочій напрузі 20 кВ та струмові 20 мА. Проміряну криву ТСЛ цих зразків при швидкості нагрівання 3 К/с наведено на рис. 2. Одержані результати добре узгоджуються з літературними даними [1, 6, 7].

Для прикладу на рис. 3 наведено експериментально одержані на даній установці криві ТСЛ для партії плівок LiF:Mg,Ti, опромінених пучком електронів з енергією 6 МеВ. Опромінення проводилось на мікротроні М-30 відділу фотоядерних процесів Інституту електронної фізики НАН України. Той факт, що температурне положення всіх трьох максимумів виявилось майже однаковим, свідчить про відтворюваність результатів у межах однієї технологічної партії. Різниця у інтенсивностях піків цих трьох кривих може бути пов'язана з різною товщиною плівок.

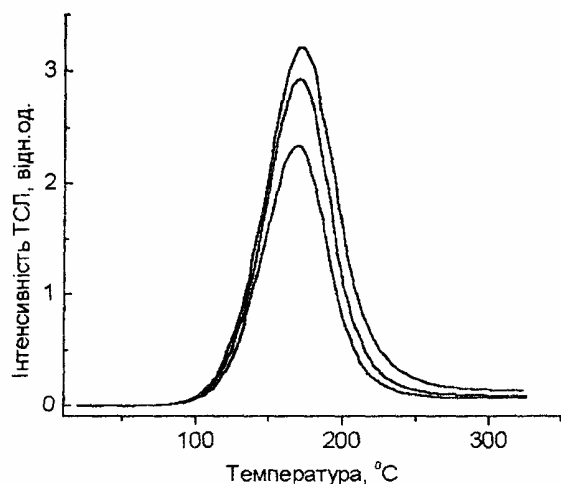


Рис. 3. ТСЛ плівок LiF:Mg,Ti з однієї партії, опромінених пучком електронів з енергією 6 МеВ.

Автор висловлює щире подяку за запропоновану тему Маслюку В.Т. та за допомогу в роботі Лада А.В., Лоя В.Ю., Гунда Б.М., Пуга П.П., Контрошу Є.Е.

### Література

1. S.W.S.McKeever, M.Moscovitch, P.D.Townsend, *Thermoluminescence Dosimetry Materials: Properties and Uses* (Nuclear Technology Publishing, Ashford, 1995).
2. J.Hoffman, W.Tetzlaff, J.Hegland et al., *Radiat. Prot. Dosim.* **47**, 489 (1993).
3. C.L.P.Mauricio, R.A.Nunes, M.H.P.Mauricio, in: *Proc. 12th Intern. Conf. on Solid State Dosimetry* (Nuclear Technology Publishing, Ashford, 1998) p. 39.
4. E.Bulur, H.Y.Goksu, W.Wahl, in: *Proc. 12th Intern. Conf. on Solid State Dosimetry* (Nuclear Technology Publishing, Ashford, 1998) p. 112.
5. B.M.Hunda, P.P.Puga, A.M.Solomon, A.V.Lada, V.Yu.Loya, V.M.Holovey, I.I.Turok, *Functional Materials* **6**, 504 (1999).
6. Б.М.Гунда, *Наук. вісник Ужг. унів., Сер. Фіз.* **5**, 198 (1999).
7. В.В.Сердюк, Ю.Н.Ваксман, *Люминесценция полупроводников* (Вища школа, Київ-Одеса, 1988).
8. А.И.Непомнящих, Е.А.Раджабов, А.В.Егранов, *Центры окраски и люминесценция кристаллов LiF* (Наука, Новосибирск, 1984).

## A SETUP FOR STUDYING THERMOSTIMULATED LUMINESCENCE IN THIN FILMS

V.I.Lyamayev

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

An automated setup for luminescent studies of thin films is elaborated and constructed, enabling TSL measurements in a broad temperature range (20–500 °C) and linear heating rates. A resistive heating method using metal substrates as a heater is used. Low thermal capacity of heater with thin film and low thermal resistance allows to achieve high linear heating rates ( $> 100$  K/s). An electronic system was constructed for controlling heating process. An interface card installed in PC is used for registration. The input of the measured data into the computer enables fast processing. A number of test experiments is performed using LiF:Mg,Ti thin films.