

## ПРО МЕХАНІЗМ ЕЛЕКТРОЛЮМІНІСЦЕНЦІЇ ТОНКОПЛІВКОВИХ СТРУКТУР ДЛЯ ПРИСТРОЇВ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ

*Проведено ревізія доказів ударного механізму збудження центрів випромінювання в тонкоплівкових електролюмінесцентних структурах на основі сульфїду цинку з домішками фторидів рідкоземельних металів. Проаналізовано можливість використання частотних залежностей яскравості щодо розрахунку перерізу ударного збудження люмінесцентних центрів.*

*Ключові слова: електролюмінесценція, переріз збудження.*

*Проведена ревизия доказательств ударного механизма возбуждения в тонкопленочных электролюминесцентных структурах на основе сульфида цинка с примесью фторидов редкоземельных металлов. Проанализирована возможность использования частотных зависимостей яркости для расчета сечения ударного возбуждения люминесцентных центров.*

*Ключевые слова: электролюминесценция, сечение возбуждения.*

*Audit of proofs of the impact mechanism of excitation in thin-film electroluminescent structures on the basis of zinc sulfide with an impurity of fluorides of rare-earth metals is spent. Possibility of use of frequency dependences of brightness for calculation of cross-section of impact excitation of the luminescent centers is analyzed.*

*Keywords: electroluminescence, cross-section of excitation.*

**Вступ та постановка завдання.** Тонкоплівкові електролюмінесцентні структури (ТПЕЛС) типу метал-діелектрик-напівпровідник-діелектрик-метал добре відомі як основа щодо створення плоских пристроїв відображення інформації. ТПЕЛС дозволяють в повній мірі використовувати такі переваги, як твердотільна конструкція, широкий кут огляду, висока контрастність та відсутність шкідливого фонового випромінювання. Характеристики випромінювання ТПЕЛС залежать від різних факторів, що обумовлено протіканням складних фізичних процесів у активних шарах структури. Відомо, що класичний опис принципу дії ТПЕЛС змінного струму базується на моделі прямого ударного збудження [1]. Модель ударного збудження містить декілька важливих етапів, а саме генерацію у сильному електричному полі носіїв заряду на межі поділу діелектрик – напівпровідник, прискорення носіїв заряду до енергії, якої достатньо щодо прямого ударного збудження активних центрів люмінесценції, випромінювальну релаксація центрів та захоплення носіїв заряду протилежною межею поділу діелектрик – напівпровідник. Цей механізм вважається доведеним в структурах з напівпровідниковим шаром сульфїду цинку, який містить домішку марганцю.

Для створення пристроїв відображення інформації з різними кольорами світіння можуть бути використовувані структури на основі сульфїду цинку із вмістом фторидів рідкоземельних металів.

Однозначної відповіді на питання, чи розповсюджуються особливості поведінки та дія моделі збудження в структурах із вмістом марганцю на структури із вмістом фторидів рідкоземельних металів, не існує.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Нами проведено аналіз літературних джерел на предмет наявності методів доказу дії ударного механізму збудження люмінесцентних центрів в ТПЕЛС на основі сульфїду цинку з вмістом фторидів рідкоземельних металів.

У якості одного з доказів ударного збудження люмінесцентних центрів гарячими електронами в цих структурах приводиться результат експериментальних досліджень, що полягає в більш швидкому рості інтенсивності високочастотних ліній випромінювання в

спектрах електролюмінесценції в порівнянні з лініями випромінювання меншої частоти при збільшенні напруги збудження [2, 3].

Авторами [4] запропоновано спосіб визначення параметрів марганцевих центрів випромінювання, а саме їхньої концентрації та перерізу збудження, з вольт-яскравісних характеристик тонкоплівкових електролюмінісцентних індикаторів. Спосіб ґрунтується на припущенні ударного механізму збудження активних центрів. В його основі лежить залежність середньої яскравості випромінювання від амплітуди та частоти напруги збудження, яка має вигляд:

$$\frac{1}{B_1} = \frac{1}{B_0} + \frac{1}{\eta_0 f k (V - V_t)}, \quad (1)$$

де  $V$  та  $f$  – амплітуда і частота змінної напруги,  $V_t$  – порогова напруга,  $B_0$  – максимальна яскравість, яка дорівнює середньої яскравості випромінювання, якщо за період випромінювання усі активні центри переходять з стану збудження в основний стан,  $\eta_0$  – максимальна світлова ефективність,  $k$  – коефіцієнт.

$$k = 4V_{th} C C_d / C_s, \quad (2)$$

де  $C$  – ємність структури,  $C_d$  – загальна ємність діелектричних плівок,  $C_s$  – ємність напівпровідникової плівки.

Таким чином, якщо експериментальні залежності  $1/B=f(1/f)$  або  $1/B=f(1/(V-V_{th}))$  припускають лінійну апроксимацію, то можна визначити значення параметрів  $B_0$  и  $\eta_0$ , та крім того, дійти висновку, про справедливість ударного механізму збудження.

Далі з величини максимальної яскравості випромінювання  $B_0$  при звісних сталої часу падіння випромінювання, ефективності світлового виходу  $\eta_c$  та товщині плівки напівпровідника  $d_s$  можна визначити концентрацію активних центрів

$$N = B_0 \tau / (d_s \eta_c). \quad (3)$$

Та, наприкінці, з величини максимальної світлової ефективності  $\eta_0$ , яка залежить від властивостей напівпровідникової плівки наступним чином

$$\eta_0 = (\eta_c \sigma N) (\pi e E_{st}), \quad (4)$$

де  $\eta_c$  – ефективності світлового виходу,  $\sigma$  – переріз ударного збудження,  $N$  – концентрація активних центрів,  $e$  – заряд електрону,  $E_{st}$  – порогова напруженість електричного поля в напівпровіднику, маємо можливість визначити переріз ударного збудження.

Метою дослідження є перевірка можливості розповсюдження наведеного способу щодо визначення параметрів активних люмінесцентних центрів в вигляді фторидів рідкоземельних металів.

**Результати дослідження.** Об'єктом дослідження обрані тонкоплівкові структури  $ITO - HfO_2:Nd_2O_3 - ZnS:SmF_3 - HfO_2:Nd_2O_3 - Al$ . Досліджено спектри випромінювання цих ТПЕЛС та розраховано відношення інтенсивності смуг випромінювання  $I_1/I_2$  у відповідних піках 565 нм і 649 нм, а також 600 нм і 649 нм при різних напругах збудження. Результати вимірів подано на рис.1. Як очевидно з рисунку, залежності, які досліджені, характеризуються ділянкою падіння і ділянкою росту.

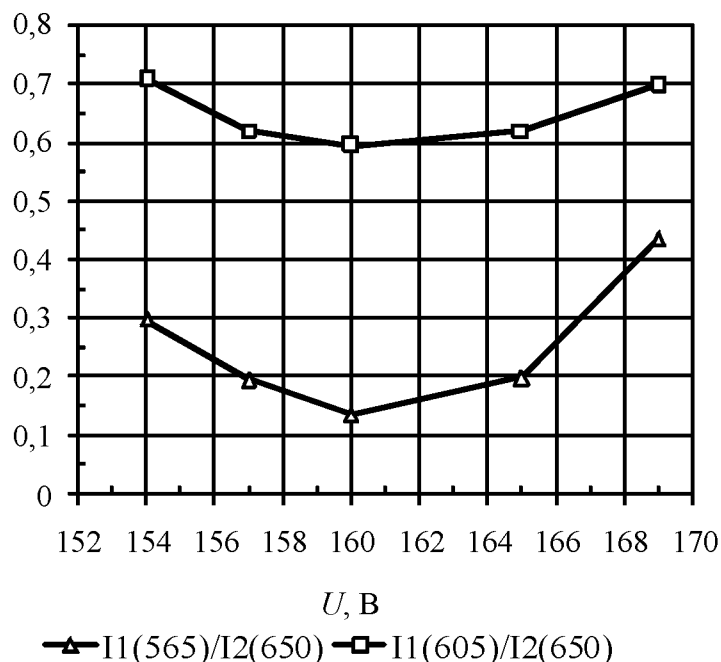


Рис. 1. Залежності співвідношення інтенсивності спектральних ліній випромінювання  $ZnS:SmF_3$  від напруги збудження

Таким чином, в ТПЕЛС на основі  $ZnS:SmF_3$  принаймні на ділянці зменшення відносної інтенсивності спектральних ліній ударне збудження активатора, вірогідно, ще не є переважним.

На перевірку методики, яка визначається формулами (1)-(4), проведено дослідження частотних залежностей яскравості структур на основі  $ZnS:SmF_3$  при різних напругах збудження. Результати досліджень при напругах 110 В та 125 В наведені на рис.2. Перше значення напруги відповідає порогової яскравості  $1 \text{ кд/м}^2$  при частоті 30 Гц. Друге значення відповідає ділянці експоненціального збільшення яскравості на вольт-яскравістній характеристиці структури.

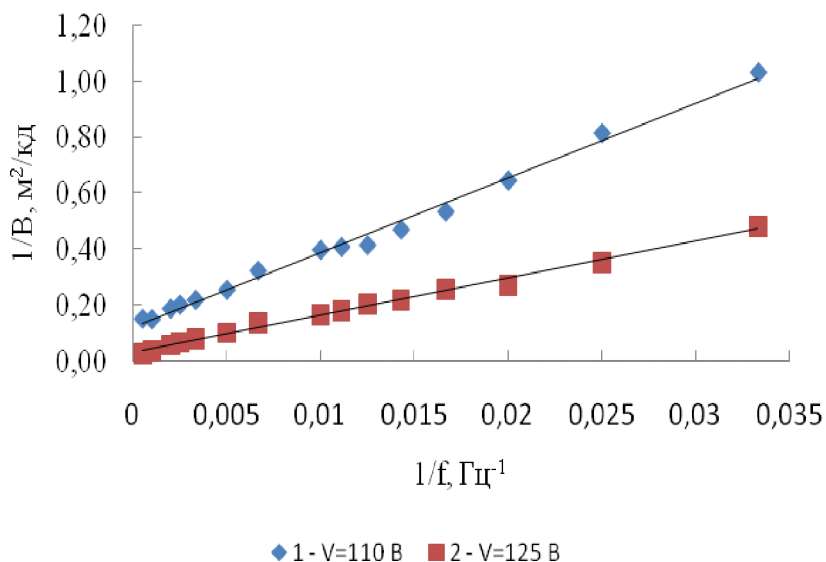


Рис. 2. Залежність  $1/V$  від  $1/f$  для ТПЕЛС на основі  $ZnS:SmF_3$  при різних напругах збудження

Перша залежність апроксимується рівнянням  $y = 26,60x + 0,122$ . Друга -  $y = 13,26x + 0,031$ . Достовірність апроксимації  $R^2$  в обох випадках дорівнює 0,993. Очевидно, вільні члени рівнянь ліній тренду відрізняються один від одного. Згідно методики [4] частотні залежності при різних напругах збудження повинні збігатися в одну крапку, тобто у визначених рівнянь вільний член повинен бути однаковим. Крім того, з отриманих залежностей нами були обчислені параметри центрів  $SmF_3$ , але виявилася значна розбіжність значення концентрації центрів з їх дійсним вмістом, та значення перерізу збудження з даними літературних джерел. Таким чином, це свідчить про відхилення поведінки досліджуваної структури від моделі ударного збудження.

**Висновки.** Проведені дослідження дають можливість зробити висновок про неможливість в повному обсязі розповсюджувати ідеї механізму ударного збудження на тонкоплівковій електролюмінісцентній структурі з домішковими центрами фторидів рідкоземельних металів. Вони мають більш складну природу, ніж іони марганцю. Потрібні подальші дослідження з метою виявлення дійсних меж використання моделі ударного збудження в цьому випадку.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Mach R. On the Mechanism of Electron-Impact-Excited Luminescence in AC Thin Film Devices: ZnSe:Mn /R. Mach, G. O. Müller, G. Schulz, J. von Kalben, W. Gericke // Phys. Stat.Sol(a). – 1984. – Vol.81. N2 – P.733-738.
2. Hagston W.E. Mechanism of excitation of rare-earth complexes in electroluminescence devices.// Phys. Stat. Sol.(a).-1984. - V.81. - P.687-693.
3. Benalloul P. Electroluminescent mechanism of rare – earth doped ZnS thin films. // Springer Proceedings in Physics. Electroluminescence. - 1989. - Vol.38. P.36-43.
4. Самохвалов М. К. Определение сечения ударного возбуждения активаторов в люминофоре на основе измерений вольт-яркостных характеристик тонкопленочных электролюминесцентных структур / М. К. Самохвалов, Р.Р.Давидов, Э.И.Хадиуллин // Письма в ЖТФ. – 2001. – т. 27. – Вып. 8. – С.74–80.

**Рецензент: д.т.н., проф. Ленков С.В.**