

ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРОЛЮМІНЕСЦЕНТНИХ ВИПРОМІНЮВАЧІВ, ОДЕРЖАНИХ НА ОСНОВІ КАПСУЛЬОВАНОГО ЛЮМІНОФОРУ ZnS: Cu

К.О. Попович

Кафедра твердотільної електроніки, Ужгородський національний університет
88000, Ужгород, вул. Волошина, 54

Наведені результати дослідження залежностей яскравості світіння електролюмінесцентних випромінювачів, одержаних на основі капсульованого люмінофору ZnS: Cu, від напруги та частоти. Ці залежності пояснюються в рамках моделі виснаженого бар'єру Мотта-Шотткі. Показано, що відхилення від лінійності та насичення яскравості світіння з ростом частоти зумовлене зменшенням коефіцієнта ефективності внаслідок зменшення напруги на бар'єрах.

Вступ

Відомо, що в залежності від технології одержання люмінесцентного порошку, конструкції електролюмінесцентного випромінювача (ЕЛВ) і технологічних режимів її виготовлення характеристики та параметри ЕЛВ змінюються [1, 2]. Незважаючи на те, що властивості ЕЛВ, одержаних на основі ZnS: Cu люмінофору вивчаються давно, багато питань, пов'язаних з природою їх світіння і їх деградацією залишаються невирішеними [3-5].

Важливою для розуміння деградаційних процесів, які відбуваються в ЕЛВ при експлуатації, є інформація про вплив робочої напруги і частоти на яскравість їх випромінювання.

Збудження електричним полем рекомбінаційного випромінювання може відбуватися двома способами [6]: 1) при прямому зміщенні р-п переходу або гетеропереходу, коли відбувається інжекція нерівноважних носіїв з наступною їх випромінювальною рекомбінацією; 2) при зворотному зміщенні р-п переходу або гетеропереходу, коли в шарі просторового заряду виникає поле, яке досягає значень 10^6 В/с. При цьому в області сильного поля можливі ефекти термопольової іонізації домішкових центрів (ефект Френкеля-

Пула), тунельного пробою і ударної іонізації, які забезпечують генерацію нерівноважних носіїв заряду. В останньому випадку можливе різке збільшення концентрації носіїв і утворення лавини.

Рекомбінація таким чином генерованих носіїв, супроводжувана випромінюванням, визначає інтенсивність електролюмінесценції обернено зміщеного р-п переходу або гетеропереходу. Вивченню цих питань присвячена дана стаття, в якій використані загальноприйняті методики досліджень. Об'єктом дослідження вибраний капсульований люмінофор ZnS: Cu (порошок марки „GG43”, оболонка (Ti-Si)O₂).

Експериментальні результати та їх обговорення

На рис. 1 (а) показана залежність яскравості випромінювання (B) електролюмінесцентного випромінювача від ефективної синусоїдальної напруги ($V_{\text{еф}}$) на частоті $\nu = 400$ Гц. Для визначення закону, за яким змінюється яскравість випромінювання ЕЛВ від напруги, цю залежність було представлено в різних координатах. На рис. 1 (б) і (в) наведені ці ж залежності, побудовані в координатах $\lg B = f(V_{\text{еф}}^{-1/2})$ (б) та $\lg B = f(V_{\text{еф}}^{-1})$ (в), відповідно.

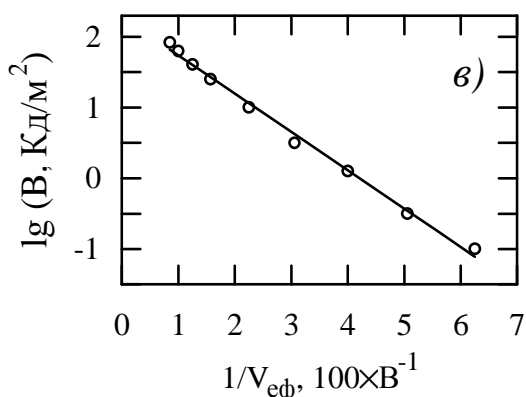
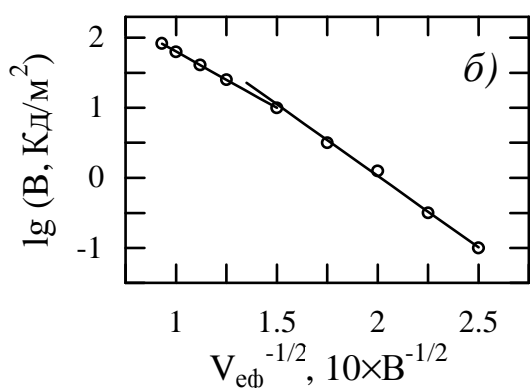
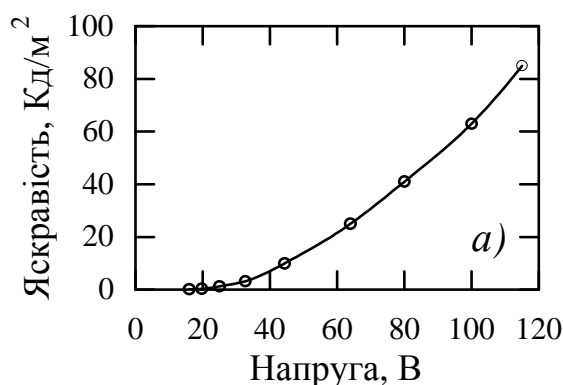


Рис. 1. Залежність яскравості світіння поверхні електролюмінофору ЕЛВ від ефективної синусоїдальної напруги (а). Ця ж залежність, побудована в координатах $\lg B = f(V_{\text{эф}}^{-1/2})$ (б) та $\lg B = f(V_{\text{эф}}^{-1})$ (в).

У більшості випадків для люмінесцентних елементів використовується емпіричне співвідношення між величинами B і $V_{\text{эф}}$, яке має вигляд:

$$B = B_0 \exp\left(-\frac{C}{\sqrt{V}}\right), \quad (1)$$

де B_0 і C - постійні [6].

Як впливає із порівняння залежностей (б) і (в) на рис. 1, більш коректною може бути залежність між цими величинами, яка описується формулою:

$$B = B_0 \exp\left(-\frac{V_0}{V}\right), \quad (2)$$

де V_0 - постійна.

Запропоновано (див., наприклад, [6]) таку залежність пов'язувати з тим, що даний електрон у зоні провідності, маючи достатньо велику довжину пробігу в напрямку прикладеного поля, може отримати енергію, необхідну для іонізуючого співудару, яка описується залежністю $\exp(-l/l_0)$, де l_0 - середня довжина пробігу електрона у зоні провідності, а величина l , рівна:

$$l = W_i / eE, \quad (3)$$

де W_i - енергія, яка потрібна для іонізуючого співудару; E - величина напруженості електричного поля; e - заряд електрона.

Якщо E пропорційне V^S , що справджується для виснаженого бар'єру Мотта-Шоттки, то можна одержати експоненціальну залежність яскравості світіння від напруги (ф-ла (1)).

Враховуючи те, що постійні B_0 і C є функціями середнього „діаметру” d кристалітів і змінюються як $B_0 \propto d^{2\pm 1}$ та $C \propto d^S$ після інтегрування виразу виду $\exp[-Cr/(d \times V)^S]$ по розподілу d , одержимо залежність, яка описується формулою (2).

На рис. 2 (а) наведена залежність B від ν для ЕЛВ. Видно, що в діапазоні частот 400 - 2000 Гц, величина B збільшується за сублінійним законом. Досліди показали, що при частотах, більших 3000 Гц яскравість світіння прямує до насичення. Побудова вищезгаданої залежності в логарифмічному масштабі (Рис. 2, б) дає в указаному діапазоні частот залежність $B \propto \nu^{0,75}$.

Якщо допустити, що яскравість пропорційна швидкості, з якою число N електро-

нів зменшується в області, звідки вони повернулися, на $-dN/dt$, то

$$B \propto -dN/dt = N \cdot A \cdot V \exp(-E_0/kT), \quad (4)$$

де A - постійна; V - прикладена напруга; E_0 - глибина рівня прилипання.

Величина $N \exp(-E_0/kT)$ дає приблизне число електронів провідності, здатних під дією поля повернутися у область рекомбінації, де менш рухливі дірки збереглися на глибоких рівнях прилипання. Інтегрування рівняння (4) для $V = F_0 \sin(2\pi\nu t)$ за півперіод приводить до співвідношення

$$N = N'_0 [1 - \exp(-Y)]. \quad (5)$$

Тут

$$Y = A \cdot V_0 \exp(-E_0/kT) \nu, \quad (6)$$

N'_0 - повне число електронів, здатних повернутися в область збудження.

Відхилення від лінійності (рис. 2) і насичення яскравості з ростом частоти можуть бути також пов'язані з такими причинами:

1. Час життя збудженого стану стає порівняним з періодом збуджуючого поля.
2. Спад напруги на прозорому електроді збільшується в міру того, як його опір стає порівняним з імпедансом комірки.
3. Квантовий вихід зменшується в результаті зменшення напруги на бар'єрах ($V_0 \neq \text{const}$).

$$B = B_0 \nu \{1 - \exp[AV_0 \exp(-E_0/kT)]/\nu\} \exp(-V_0/V). \quad (7)$$

При заданих значеннях ν , T та $V_0 = \text{const}$ ця залежність може бути записана як

$$B = B'_0 \nu [1 - \exp(-b/\nu)], \quad (8)$$

де B'_0 і b - постійні.

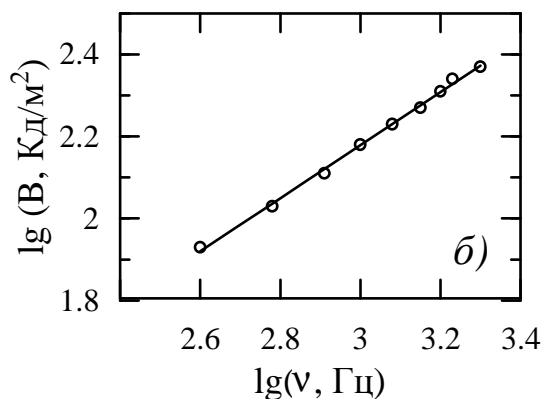
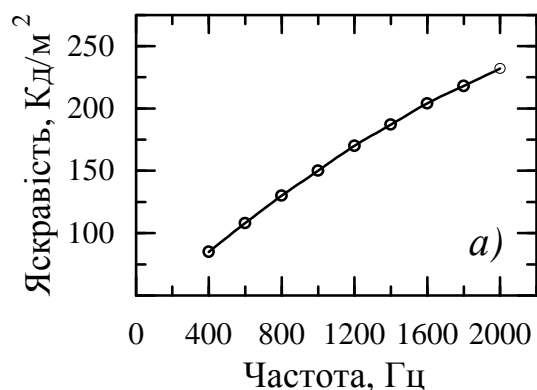


Рис. 2. Залежність яскравості світіння поверхні електролюмінофору ЕЛВ від частоти синусоїдальних коливань при $V_{\text{эф}}=115$ В (а) і аналогічна залежність, побудована в координатах $\lg B = f(\lg \nu)$ (б).

Якщо $N'_0 \propto \exp(-V_0/V)$ (див. формулу (2)), то залежність яскравості електролюмінесценції від частоти буде описуватися як

Із формули (8) видно, що при певних значеннях величини b при низьких частотах залежність буде лінійною. З підвищенням частоти за рахунок другого члена в квадратних дужках може спостерігатися сублінійна залежність.

Висновки

Показано, що залежності яскравості світіння електролюмінесцентних випромінювачів, одержаних на основі капсульованого люмінофору ZnS: Cu, від напруги та частоти можуть бути пояснені в

рамках моделі виснаженого бар'єру Мотта-Шотткі. Припускається, що відхилення від лінійності яскравості світіння з ростом частоти зумовлене зменшенням коефіцієнта ефективності внаслідок зменшення напруги на бар'єрах.

Література

1. Бачериков Ю.Ю., Головина И.С., Кицюк Н.В., Мухльо М.А., Родионов В.Е. Некоторые особенности отжига кристаллофосфоров ZnS: Cu, Cl // Структурна релаксація у твердих тілах. – Вінниця. – 2003. – С. 180-182.
2. Морозова Н.К., Кузнецов В.А. Сульфид цинка. Получение и оптические свойства – М.: Наука, 1985. – 200 с.
3. Savchenko N.D., Shchurova T.N., Popovych K.O., Rubish I.D., Leising G. Simulation of the electronic states in the band gap for ZnS: Cu, Cl crystallophosphors // Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. – 2004. – Vol. 7, No. 2. – P. 133-137.
4. Popovych K.O., Savchenko N.D., Rubish I.D., Leising G. X-ray microanalysis and energy band diagram for encapsulated ZnS: Cu electroluminescent phosphors // Abstr. 11th European Conference on Applications of Surface and Interface Analysis (ECASIA05) – Vienna (Austria). – 2005. – P. 261.
5. Savchenko N.D., Popovych K., Shchurova T., Rubish I., Leising G. Non-linear properties simulation for zinc chalcogenides // Book of Abstracts SSC 2006 7th International Conference on Solid State Chemistry (SSC 2006). – Pardubice (Czech Republic). – 2006. – P. 182-183.
6. Морхед Ф.Ф. Электролюминесценция // Физика и химия соединений $A^{II}B^{VI}$: Пер. с англ. под ред. С.А. Медведева. – М.: Мир, 1970. – С. 465-498.

ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF ELECTROLUMINESCENT PANELS BASED ON ENCAPSULATED ZnS: Cu POWDER PHOSPHOR

Popovych K. O.

Solid State Electronics Department, Uzhhorod National University,
54 Voloshyn St., 88000 Uzhhorod, Ukraine

Dependences of brightness on voltage and frequency for electroluminescent lamps prepared from encapsulated ZnS: Cu phosphors have been presented. These dependences are explained in terms of exhausted Mott-Schottky barrier. It is assumed that brightness nonlinearity with increase in frequency can be attributed to decrease of luminance factor due to barrier voltage decrease.