

АПРОКСИМАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ЕЛЕКТРООПТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СВІТЛОДІОДНИХ СОВ-МОДУЛІВ

Пекур Демид Володимирович,

доктор філософії, старший дослідник

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

Ніколаєнко Юрій Єгорович,

доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

Сорокін Віктор Михайлович

чл.-кор. НАНУ, доктор технічних наук, професор

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

E-mail: demid.pekur@gmail.com

Світлодіоди стали революційною технологією в галузі освітлення, завдяки своїй енергоефективності, довговічності та екологічності. Вони набули широкого поширення в різноманітних сферах – від побутового та комерційного освітлення до створення на їх основі освітлювальних систем спеціального призначення (зокрема в аграрній галузі, медицині, автомобілебудуванні, освітленні зон надзвичайних ситуацій тощо). Не зважаючи на високу функціональну надійність, електрооптичні, світлові, колірні та експлуатаційні характеристики світлодіодів суттєво залежать від температурних умов роботи. Підвищення температури експлуатації світлодіодів призводить до зменшення їх світлового потоку, зміни корельованої колірної температури й індексу кольоропередачі [1], а також до прискореної деградації матеріалів, з яких вони виготовлені, що призводить до незворотного зниження їх ефективності та скорочення строку служби [2]. Саме тому під час розроблення та проектування сучасних світлодіодних систем освітлення важливим є врахування температурних залежностей їхніх параметрів і характеристик. Особливої уваги потребує врахування температурних впливів у високопотужних освітлювальних пристроях, оскільки їх ігнорування може призвести до помилок у проектуванні та виходу параметрів світлодіодів за межі попередньо заданих значень.

Найбільшого розповсюдження для реалізації освітлення набули білі світлодіоди. Більшість сучасних білих світлодіодів є пристроями на основі люмінофорів, де частина випромінювання синього або ультрафіолетового світлодіода перетворюється люмінофором у видиме світло потрібного спектра. Сучасні високоефективні світлодіоди, виготовлені з використанням високотехнологічних напівпровідникових гетероструктур і люмінофорів зі стабілізованими спектральними властивостями [3], здатні частково компенсувати небажані температурні ефекти. Крім того, технології покращеного тепловідведення від світловипромінюючих кристалів, розвиток інженерії матеріалів і вдосконалений оптичний дизайн дозволяють значною мірою зменшити колірну нестабільність сучасних світлодіодів. Проте, навіть за таких умов із ростом температури неминуче знижується їх світлова ефективність, що обумовлено переважно збільшенням безвипромінювальних втрат та деградацією оптичних та світлоконвертуючих структур.

Зі зростанням вимог до інтенсивності освітлення в промислових, транспортних, вуличних та спеціалізованих системах освітлення, постала потреба у використанні високопотужних світлодіодів, здатних забезпечувати великий світловий потік при компактних габаритах. Однак реалізація таких джерел освітлення на базі окремих світлодіодів виявилася технічно складним завданням через обмеження тепловідведення,

нерівномірності світлового поля та зниження надійності при високих щільностях струму через окремий світловипромінюючий кристал. У відповідь на ці виклики була розроблена технологія Chip-on-Board (COB), яка передбачає щільний монтаж множини напівпровідникових кристалів безпосередньо на спільну теплопровідну підкладку з подальшою спільною інкапсуляцією. Такий конструктив дозволяє сформувавши єдиний потужний світловипромінювальний модуль з високою яскравістю, хорошою рівномірністю випромінювання та покращеними умовами тепловідведення.

Водночас, через зростання концентрації джерел тепла в межах одного COB-модуля, виникають підвищені вимоги до систем тепловідведення освітлювального пристрою в цілому. Правильне проектування систем охолодження таких освітлювальних пристроїв є критично важливим для забезпечення стабільної роботи при великих електричних потужностях і для збереження спектральної стабільності випромінювання. Таким чином, COB-технологія поєднує переваги високої яскравості та компактності світлодіодних збірок, але вимагає ретельного теплового менеджменту для запобігання перегріву і деградації світлових характеристик. Завдяки ефекту усереднення параметрів багатьох кристалів, можна наближено описати поведінку усього COB-модуля за допомогою універсальних математичних моделей, які враховують лише основні термічні та електрооптичні залежності та значно спрощують теоретичний та експериментальний аналіз робочих характеристик джерела світла на їх основі.

Метою даної роботи є дослідження впливу температури на електрооптичні параметри потужних світлодіодних COB-модулів шляхом поєднання експериментальних вимірювань із побудовою математичних залежностей, що їх описують, зокрема на основі методів поліномної регресії, які забезпечують високу точність апроксимації у випадку нелінійної поведінки змінних.

В процесі виконання роботи проведено комплекс спеціальних експериментальних досліджень щодо впливу температурних режимів на електрооптичні параметри потужних COB-модулів та розроблено математичні моделі, що адекватно описують отримані експериментальні дані. Отримані результати спрямовані на підвищення точності прогнозування робочих характеристик COB-модулів в умовах змінного теплового навантаження та температури, а також на формування аналітичної основи для оптимального проектування сучасних високоефективних світлодіодних систем освітлення.

Похибка апроксимації отриманих моделей не перевищує похибку використаного вимірювального обладнання, що свідчить про високу точність і відповідність моделей експериментальним даним. Крім того, модель може бути застосована не лише для інтерполяції в межах досліджуваного температурного діапазону, але й для прогнозування ефективності при близьких до номінальних умовах, що відкриває перспективи її використання в інженерних розрахунках та автоматизованому теплому аналізі світлодіодних систем освітлення. Розробка адекватних математичних моделей, що описують залежності ключових параметрів від температури, є необхідною умовою для створення надійних світлодіодних освітлювальних систем із прогнозованими параметрами, особливо у застосуваннях зі складними тепловими режимами.

Роботу виконано за підтримки Національного фонду досліджень України (проект № 2023.04/0055).

Список використаних джерел

1. Ryu G.-H., Ma B., Ryu H.-Y. Temperature dependence of the color rendering index of a phosphor-conversion white light-emitting diode // AIP Advances. – 2019. – Vol. 9, No. 1. – DOI: 10.1063/1.5066351.
2. Padmasali A., Kini S. LED life prediction based on lumen depreciation and colour shift // Lighting Research & Technology. – 2015. – Vol. 49, No. 1. – P. 84–99. – DOI: 10.1177/14771535155593580.

3. Zhao M., et al. Li substituent tuning of LED phosphors with enhanced efficiency, tunable photoluminescence, and improved thermal stability // Science Advances. – 2019. – Vol. 5, No. 1. – DOI: 10.1126/sciadv.aav0363.

УДК 628.98: 004.4: 535.23

АНАЛІЗ ВИМОГ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ ЩОДО ВИМІРЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ПРОПУСКАННЯ СКЛА

Шабашкевич Борис Григорович

кандидат технічних наук, директор ТОВ НВФ «ТЕНЗОР»

Добровольський Юрій Георгійович

доктор технічних наук, зам. директора ТОВ «НВФ «ТЕНЗОР»

ТОВ «Науково-виробнича фірма «ТЕНЗОР»

E-mail: td_tenzor@ukr.net

Прозорість скла, яке використовується у будівництві та автомобільній техніці, має суттєве значення для комфорту людей у першому випадку, і є одним з факторів безпеки дорожнього руху у другому випадку. Тому питання коректного вимірювання цього параметра є актуальним завданням сучасної світлотехніки. Актуальності цьому питання додає та обставина, що сьогодні в Україні, вимірювання коефіцієнту пропускання скла регламентується різними нормативними документами, які не тільки по різному тлумачать цей параметр, а і висувають різні вимоги до його контролю.

Першим розглянемо ДСТУ Б ISO 9050:2010 [1], в якому вжито терміни: «Світлопропускання» та «Коефіцієнт пропускання світла».

Другий документ – це ДСТУ 3649:2010 [2] вжито термін «Світлопропускання».

Третій документ - наказ міністерства інфраструктури України № 106 15.02.2012 [3] про затвердження «Технологічних вимог до засобів перевірки технічного стану, обслуговування і ремонту колісного транспортного засобу», в якому вжитий термін «Коефіцієнт світлопропускання».

Існує ще один документ - Постанова КМУ від 19.05.2023р № 514 «Про затвердження Порядку проведення обов'язкового технічного контролю та обсягів перевірки технічного стану транспортних засобів, технічного опису та зразка протоколу перевірки технічного стану транспортного засобу» [4], де також вжити термін «Світлопропускання», як і в ДСТУ 3649:2010.

І, нарешті, маємо Міжнародний словник електротехнічних термінів [5], де вказано термін: «Коефіцієнт пропускання».

Постає питання – яким документом керуватися при встановлення назви приладу, який має вимірювати відношення пропущеного потоку випромінювання чи світлового потоку до відповідного надхідного потоку за даних умов, що за визначенням у [5] є коефіцієнтом пропускання?

Окрім того втратив чинність ДСТУ ГОСТ 8.332:2008 [6], який висуває вимоги до «вимірювального елементу у складі приймача світла», який має бути подібний за відносною спектральною світловою ефективністю монохроматичного випромінювання до оптичної чутливості людського ока. А ця вимога є суттєвою в разі використання в якості джерела світла, при вимірювання коефіцієнта пропускання, джерела типу А з кольоровою температурою $T_k = 2850K$, як того вимагає наказ [3].

Другою проблемою є наявність на ринку різних типів приладів. В одних застосовано джерело випромінювання типу А з кольоровою температурою 2850K, а фотоприймач споряджується оптичним фільтром, який корегує спектральну характеристику фотоприймача