МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

ПІДФІГУРНИЙ ОРЕСТ БОРИСОВИЧ

УДК 628.93

СТАБІЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

141 Електроенергетика електротехніка та електромеханіка

Автореферат
дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль
2018

Роботу виконано на кафедрі електричної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Керівник роботи: кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри світлотехніки та електротехніки
Закордонець Володимир Савич,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Рецензент: кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій
Золотий Роман Захарійович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 26 грудня 2018 р. о 9^{00} годині на засіданні екзаменаційної комісії №39 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою:а м. Тернопіль, вул. Микулинецька, 46а, корпус №7, к. 504.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи Напівпровідникова світлотехніка є ефективною енергозберігаючою технологією, і протягом останніх років бурхливо розвивається практично у всіх країнах світу. Світлодіоди при однакових величинах світлового потоку споживають потужність в 10 раз меншу ніж лампи розжарювання і в 2 рази меншу ніж люмінесцентні лампи.

Незважючи на високий *ККД* перетворення електричної енергії в світлову, близько 70% підведеної енергії перетворюється в теплову. Якщо її не каналізувати, то це спричинить надмірний нагрів гетеропереходу світлодіоду. Порушення його теплового режиму неминуче приведе до: зменшення світлового потоку, зменшення яскравості свічення, зменшення квантової ефективності, деградації світлових характеристик, зниження світлової проникності оптичної системи. В зв'язку із сказаним особливої актуальності набуває забезпечення адекватного теплового режиму світлодіоду. Для кардинального розв'язку цієї проблеми необхідно удосконалювати якість матеріалу напівпровідникової гетероструктури. В той же час вдало сконструйований тепловідвід вже на сучасному етапі розвитку напівпровідникових технологій дозволить суттєво покращити експлуатаційні характеристики існуючих напівпровідникових джерел світла.

Мета роботи полягає у виявленні параметрів, які найбільше впливають на тепловий режим напівпровідникових джерел світла та підбір засобів для його стабілізації.

Об'єктом дослідження є напівпровідникові джерела світла.

Предметом дослідження є системи охолодження напівпровідникових джерел світла та освітлювальні пристрої на їх основі.

Наукова новизна отриманих результатів.

- Побудовано теплову математичну модель напівпровідникового джерела світла, яка описує вплив основних параметрів: потужності, квантової ефективності, теплового опору, температури зовнішнього середовища на його тепловий режим.
- Розраховано теплові режими світлодіодів з локальним і виносним радіаторами.
- Розраховано тепловий режим світлодіоду з термоелектричним модулем охолодження.
- Сформульовано рекомендації по збільшенню світлового потоку та світлової віддачі напівпровідникових джерел світла при одночасній стабілізації їх теплового режиму.

Практична цінність результатів дослідження.

- Запропоновано конструкцію світлодіодної лампи з локальним радіатором.
- Запропоновано конструкцію світлодіодної лампи оснащеної радіальною системою теплових трубок з'єднаних з виносним радіатором.
- Запропоновано конструкцію світлодіодної лампи з термоелектричним модулем охолодження.

- Представлені результати дослідження направленого на збільшення світлового потоку існуючих напівпровідникових джерел світла при одночасній стабілізації їх тепового режиму.

Апробація. Основні результати роботи доповідались на VII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів. «Актуальні задачі сучасних технологій», Тернопіль, ТНТУ, 28 – 29 листопада 2018 р.

Структура роботи. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 8 частин, висновків, та переліку посилань. Обсяг розрахунково-пояснювальної записки –96 арк. формату А4.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі встановлено актуальність тематики дипломної роботи, визначено основні завдання, які необхідно вирішити в роботі, відмічено наукову новизну та практичну цінність результатів виконання роботи.

В аналітичній частині проведений аналіз існуючих напівпровідникових джерел світла. На основі аналізу наукових публікацій установлено, що масове впровадження напівпровідникових джерел світла може суттєво зменшити енерговитрати на різні види освітлення. Встановлено, що в сучасних напівпровідникових джерелах світла ефективність перетворення електричної енергії в світлову складає 20÷35%, інша частина енергії виділяється у вигляді тепла. Встановлено, що порушення теплового режиму приводить до значного підвищення температури гетеропереходу і суттєвого зниження світлового потоку, світловіддачі та терміну експлуатації приладу.

В науково-дослідній частині запропонована математична теплова модель світлодіоду, яка описує вплив основних параметрів: потужності, квантової ефективності, теплового опору, температури зовнішнього середовища на тепловий режим світлодіоду. Розрахований тепловий режим світлодіодів з локальним та виносним радіатором. Зазначено, що основними шляхами збільшення світловіддачі та світлового потоку існуючих джерел світла є їх активне охолодження при одночасному збільшенні прямого струму. Показано, що при високих темературах середовища тепловий опір між гетеропереходом світлодіоду та середовищем бизький до нуля, і адекватний тепловий режим не може бути реалізований жодною із традиційних систем охолодження окрім термоелектричної.

В технологічній частині наведена інформація про основні параметри сучасних світлодіодних матриць з білим кольором свічення. Їх особливістю є висока питома щільність світлового потоку, що дозволяє при мінімальних витратах реалізувати як окремі світильники, так і системи освітлення різного призначення в яких би поєднувалися велика світловіддача, високий ККД і зручність застосування. Конструкція світлодіодних матриць оптимізована для спрощення розробки та зниження собівартості систем освітлення. Показано, що витрати на розробку світильників, побудованих на основі світлодіодних матриць, істотно менші, від аналогічних світильників на дискретних світлодіодах.

В проектно-конструкторській частині визначено основні методи та способи охолодження напівпровідникових джерел світла. Сформульовано загальні рекомендації по збільшенню світлового потоку та світлової віддачі напівпровідникових джерел світла при одночасній стабілізації їх теплового режиму. Проаналізовано локальні та виносні системи охолодження та визначено їх переваги та недоліки. Обґрунтовано вибір термоелектричної системи охолодження та межі її застосування.

В спеціальній частині описані термоелектричні явища, які лежать в основі термоелектричного охолодження, зокрема ефекти Зеебека і Пельтьє. Описана будова та методика застосування термоелектрочного модуля охолодження (ТЕМО). Наведені основні термоелектричні співвідношення для розрахунку холодопродуктивності ТЕМО, холодильного коефіцієнту та перепаду температур між холодною та гарячими поверхнями ТЕМО. Описані режими його роботи, а також методика вибору оптимальної величини струму живлення. Наведено існуючі світові та вітчизняні типи термоелектричних модулів, проаналізовано їх технічні характеристики та описана методтка їх вибору.

В частині «Обґрунтування економічної ефективності» на основі представленої методики оцінки енергоефективності освітлення виробничих приміщень розраховано економічний ефект від заміни світильників *ЖСП-07 ВОТ 600* з лампою потужністю *600 Вт* (базовий варіант) на світильники *INDUSTRY LED* з світлодіодними модулями потужністю *270 Вт*. В розрахунку відображені статті витрат: матеріальних ресурсів, енергетичних ресурсів та обслуговування обладнання. Показано, що річна економія електроенергії може скласти *1250 кВт·год*, що становить 66,3% від базової установки. Показано, що світлодіодна система освітлення повертає додаткові капіталовкладення за 3,73 року. З цього часу витрати на базовий варіант перевищать додаткові капіталовкладення і почнеться пряма економія матеріальних ресурсів.

В частині «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розглянуто вплив електричного струму на організм людини, причини електротравматизму на виробництві та дію електричного струму на робітників та службовців суб’єкта господарювання та забезпечення першої медичної допомоги при електротравмах. Вивчені особливості впливу інфрачервоного та електромагнітного випромінювання на організм людини.

В частині «Екологія» проаналізовано негативний вплив інфрачервоного та електромагнітного випромінювання на організм людини та на навколишнє середовище. Показана актуальність цієї проблеми в енергетиці та шляхи її вирішення.

У загальних висновках до дипломної роботи описано прийняті в роботі технічні рішення, які забезпечують підвищення енергоефективності напівпрвідникових джерел світла. Дані узагальнені рекомендації щодо використання різноманітних методів та засобів охолоджувальних систем.

ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу наукових публікацій встановлено, на сьогодні в Україні до 25-30% валових енерговитрат припадає на різні види освітлення. Масове впровадження світлодіодних засобів освітлення може скоротити цей обсяг в *6÷8* разів. Це разом з комулятивними ефектами може спричинити зростання ВВП на *1.5÷2%.*
2. Встановлено, що в сучасних напівпровідникових джерелах світла ефективність перетворення електричної енергії в світлову складає 20÷35%, інша частина енергії виділяється у вигляді тепла.
3. Встановлено, що порушення теплового режиму приводить до значного підвищення температури гетеропереходу і суттєвого зниження світловіддачі та терміну експлуатації приладу.
4. Для збільшення світлового потоку світлодіоду необхідно збільшувати величину прямого струму при одночасному зменшенні температури гетеропереходу.
5. Температура гетеропереходу світлодіода буде зменшуватися при зменшенні загального теплового опору системи охолодження і температури зовнішнього середовища. Тепловий опір можна зменшити застосовуючи активне охолодження.
6. При темературі середовища бизькій до $T_a = 85°C$, тепловий опір між гетеропереходом та середовищем бизький до нуля, і адекватний тепловий режим не може бути реалізований жодною із традиційних систем охолодження окрім термоелектричної.
7. При використанні термоелектричної системи охолодження зменшенню температури гетеропереходу буде сприяти низька температура середовища і великий перепад температури між холодною і горячою поверхнями ТЕМО.
8. Для відведення теплової енергії за межі світлодіодної лампи з щільною упаковкою потужних елементів може бути застосована радіальна система теплових трубок з’єднаних з виносним радіатором. Використання запропонованої схеми охолодження дозволить збільшити прямий струм і світловіддачу лампи.
9. Показано, що реальна температура гетеропереходу світлодіодіу може відрізнятися від отриманої аналітично в бік збільшення в результаті: розігріву струмом провідності пасивних областей гетероструктури і його розтіканням по складній геометрії контактних площадок; залежності квантової ефективності світлодіода від струму і температури; температурної залежності коефіцієнтів теплопровідності матеріалів гетероструктури і конструкції світлодіода.
10. Врахування вказаних факторів є окремими задачами, які можуть бути розв’язані на основі запропонованої математичної моделі світлодіоду.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1. Закордонець В.С., Кутузова Н.В., Підфігурний О.Б.. Стабілізація теплового режиму світлодіодів термоелектричними модулями охолодження// Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 28-29 листопада 2018., м.Тернопіль. – С.27.

АННОТАЦІЯ

Підфігурний О.Б. Стабілізація теплового режиму напівпровідникових джерел світла.

141 Електроенергетика електротехніка та електромеханіка. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль, 2018.

У дипломній роботі побудовано теплову математичну модель напівпровідникового джерела світла, яка описує вплив основних параметрів: потужності, квантової ефективності, теплового опору, температури зовнішнього середовища на його тепловий режим. Розраховано теплові режими світлодіодів з локальним і виносним радіаторами. Розраховано тепловий режим світлодіоду з термоелектричним модулем охолодження (ТЕМО). Показано, що застосування ТЕМО дає можливість зменшити температуру гетеропереходу СД до значень нижчих ніж температура навколишнього середовища. Це особливо актуально в умовах, коли температура середовища близька до критичної температури гетеропереходу. Показано, що ефективність використання ТЕМО знижується при збільшенні потужності СД, температури навколишнього середовища і сумарного теплового опору системи охолодження. Сформульовано рекомендації по збільшенню світлового потоку та світлової віддачі напівпровідникових джерел світла при одночасній стабілізації їх теплового режиму.

Ключові слова: НАПІВПРОВІДНИКОВІ ДЖЕРЕЛА СВІТЛА, ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, СВІТЛОДІОДИ, КВАНТОВА ЕФЕКТИВНІСТЬ, СВІТЛОВИЙ ПОТІК, СВІТЛОВА ВІДДАЧА, ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ, ТЕПЛОВИЙ ОПІР.

ABSTRACT

Pidfihurnyi O. Stabilization of the thermal mode of semiconductor light sources.

141 «Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics». - Ternopil Ivan Puluj National Technical University. - Ternopil, 2018.

In the dissertation the thermal mathematical model of the semiconductor light source is constructed, which describes the influence of the main parameters: power, quantum efficiency, thermal resistance, temperature of the external environment on its thermal regime. The thermal modes of LEDs with local and external radiators are calculated. The thermal mode of the LED with thermoelectric cooling module (TCM) is calculated. It has been shown that the use of TCM makes it possible to reduce the temperature of the heterojunction of the CD to values lower than the ambient temperature. This is especially true in conditions where the temperature of the medium is close to the critical temperature of the heterojunction. It is shown that the efficiency of the use of the TCM decreases with increasing the power of SD, the ambient temperature and the total thermal resistance of the cooling system. Recommendations for increasing the light flux and light output of semiconductor light sources with the simultaneous stabilization of their thermal regime are formulated.

Key words: ENERGY EFFICIENCY, SEMICONDUCTOR SOURCES OF THE LIGHT, LIGHTNING, QUANTUM EFFICIENCY, LIGHT WINDOW, LIGHT WINDOW, HEATING MODE, THERMAL OPERATION.