

Baltos šviesos puslaidininkių lempų šiluminio režimo optimizavimas

Jurgita DABULYTĖ (VU, KTU), Feliksas IVANAUSKAS (VU, MII)*

el. paštas: feliksas.ivanaukas@maf.vu.lt

Įvadas

Pastaruoju metu vis labiau plinta visą matomos šviesos spektrą spinduliuojantys šviesos diodai. Tokie šviesos šaltiniai ateityje taps įprastais apšvietimo prietaisais, kuriuose spalva ir šviesos srautas bus reguliuojami skaitmeniniais valdikliais. Taikant keturspalves kietakūnes lempas, sudarytas iš mėlynų, žalių, oranžinių ir raudonų šviesos diodų galima gauti valdomos spalvinės temperatūros baltą šviesą. Šviesos diodai yra patvarūs ir nedideli, kai kurie šviesos diodų tipai gali veikti fantastiškai ilgai – 100 000 valandų [1, 2, 3].

Darbo tikslas buvo atrasti keturių tipų puslaidininkinių vienspalvių šviesos šaltinių išdėstymą, generuojantį baltos šviesos šaltinį. Visas sistemos temperatūrinis režimas turi būti kuo pastovesnis.

Matematinis fizikinio uždavinio modelis

Buvo paimti keturių rūšių šviesos diodai ir jie buvo išdėstomi ant metalinio padėkliuko. Uždavinio supaprastinimui matematinį modelį užrašome tik vienam šviesos diodui (1 pav.), o optimizavimo uždavinį sprendžiame apjungdami gautus rezultatus.

Matematinį vieno baltos šviesos puslaidininkių lempų diodo šiluminio režimo modelį užrašome šilumos laidumo lygtimis:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D_1 \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{F}{Q_1 \cdot \rho_1},$$

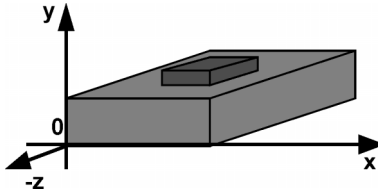
srityje $\Omega_1 = \{d_1 \leq x \leq d_2, b \leq y \leq b + e, f_1 \leq z \leq f_2\}$

ir

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D_2 \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right),$$

srityje $\Omega_2 = \{0 \leq x \leq a, 0 \leq y < b, 0 \leq z \leq c\}$,

*Darbas buvo dalinai remiamas MSF (C-03048).



1 pav. Ant metalinio padėkliuko yra patalpintas vienas šviesos diodas.

čia $T(x, y, z)$ – temperatūra, t – laikas, F – šviesos šaltinio charakteristika, Q_1 – specifinė šiluma, ρ_1 – medžiagos tankis, D_1 ir D_2 – difuzijos koeficientai.

Temperatūra pradinio laiko momentu yra pastovi (patogumo dėlei nulis).

Kraštinės sąlygos yra nepratekėjimo, srauto tolydumo ir spinduliavimo. Užrašome tik spinduliavimo sąlygą

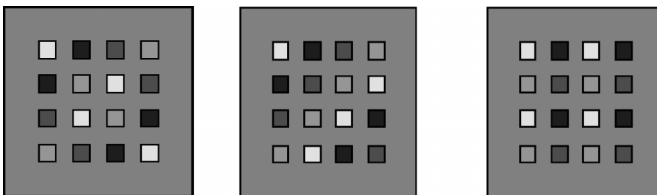
$$\frac{\partial T}{\partial n} = -\gamma(T - T_k)^4,$$

n – normalės kryptis.

Kraštinio uždavinio sprendimui buvo naudojama išreikštinė baigtinių skirtumų schema su pastoviais žingsniais [3, 4].

Optimizavimo uždavinys

Puslaidininkinė lempa, kuri generuoja baltą šviesą yra sudaryta iš plokštelės ant kurios yra talpinami keturių rūšių šviesos diodai: geltonas (1,5W), raudonas (2W), žalias (1W) ir mėlynas (0,5W). Pagrindinis optimizavimo uždavinys yra sukonstruoti tokią puslaidininkę lempą, sudarytą iš keliolikos diodų, kad suminis temperatūros gradientas būtų minimalus, t.y., $\min_W \sum_{z=0}^M \sum_{x=0}^N \left| \frac{\partial T(x,y,z)}{\partial x} \right|$, čia W – aibė galimų puslaidininkinių šviesos šaltinių išdėstymo variantų. Keli iš galimų puslaidininkinių šviesos diodų išdėstymo variantų yra pavaizduoti 2 pav.



2 pav. Trys galimi šviesos diodų išdėstymo būdai.

Rezultatai

Skaičiavimai buvo atliekami su tokiais parametrais:

Medžiaga	Specifinė šiluma Q J/(gK)	Tankis ρ g/mm ³	Šilumos laidumo koeficientas k W/(mmK)
Kristalas	0,5	0,00717	0,003
Aliuminis	0,896	0,0027	0,058
Geležis	0,44	0,00788	0,0205

- plokštelės (5mm × 5mm × 5mm, t.y., $a = 5$ mm, $b = 5$ mm, $c = 5$ mm),
- šviesos šaltinio ($d = 2$ mm, $e = 2$ mm, $f = 2$ mm, kur $d = d_2 - d_1$, $f = f_2 - f_1$).

Medžiagų parametrai:

- pradinė ir aplinkos temperatūros ($u_0 = 0^\circ\text{C}$ ir $u_k = 0^\circ\text{C}$),
- galia ($P = 0, 5 - 2\text{W}$), išspinduliavimo koeficientai ($\gamma_1 = 3 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{mm} \cdot ^\circ\text{C}^3}$ ir $\gamma_2 = 5 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{mm} \cdot ^\circ\text{C}^3}$),
- laikas ($t = 6\text{s}$).

Buvo iširta visa eilė šviesos diodų išdėstymo būdų. Optimaliausi buvo trys būdai, kurie ir yra aptariami toliau.

I būdas. Kiekvienoje eilutėje ir stulpelyje turi būti visų keturių tipų šviesos šaltinių (3 pav.).

Šiuo atveju maksimalus gradientas yra $\max \left| \frac{\partial T}{\partial x} \right| = 19, 76^\circ\text{C}/\text{mm}$, o suminis gradientas $-\sum_{z=0}^N \left| \frac{\partial T}{\partial x} \right| = 289, 4^\circ\text{C}/\text{mm}$.

II būdas. Vienodi šaltiniai išdėstomi įstrižainėse (4 pav.).

Šiuo atveju maksimalus gradientas yra $\max \left| \frac{\partial T}{\partial x} \right| = 19, 76^\circ\text{C}/\text{mm}$, o suminis gradientas $-\sum_{z=0}^N \left| \frac{\partial T}{\partial x} \right| = 303, 72^\circ\text{C}/\text{mm}$.

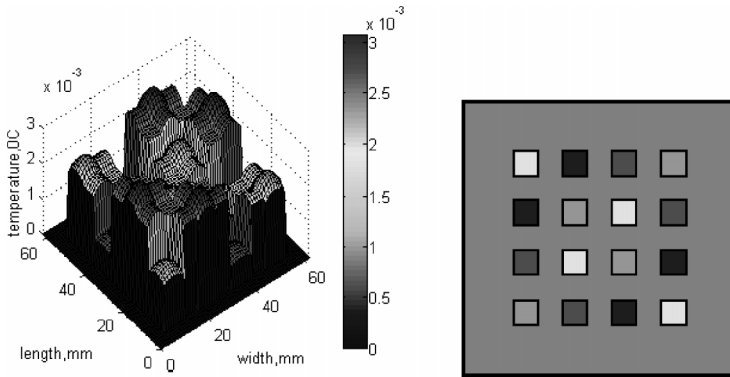
III būdas. Eilėse išdėstome po du vienos rūšies šaltinius (5 pav.).

Ir paskutiniu atveju maksimalus temperatūros gradientas $-\max \left| \frac{\partial T}{\partial x} \right| = 19, 76^\circ\text{C}/\text{mm}$, o suminis temperatūros gradientas yra $\sum_{z=0}^N \left| \frac{\partial T}{\partial x} \right| = 317, 91^\circ\text{C}/\text{mm}$.

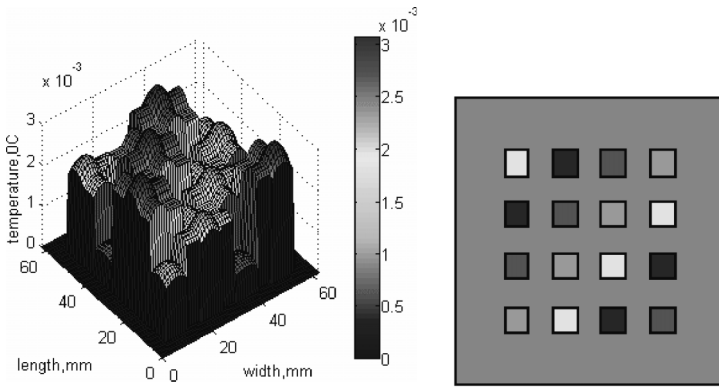
I lentelėje surašyti skaičiavimų rezultatai, kai plokštelės storis yra 5mm (I) ir 2,5mm (II).

1 lentelė. Skaičiavimų rezultatai

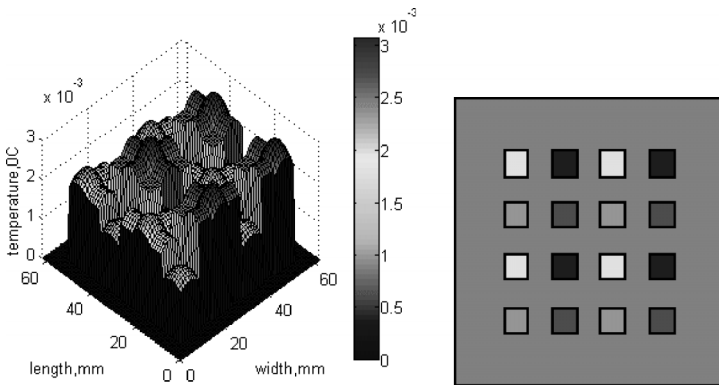
Medžiaga	$\max \left \frac{\partial T}{\partial x} \right , ^\circ\text{C}/\text{mm}$	$\sum_{z=0}^N \left \frac{\partial T}{\partial x} \right , ^\circ\text{C}/\text{mm}$
Aliuminis I	19,76	289,40
Varis I	19,76	289,28
Geležis I	17,91	451,50
Aliuminis II	19,76	303,72
Varis II	19,76	303,60
Geležis II	17,91	479,61
Aliuminis III	19,76	317,91
Varis III	19,76	317,78
Geležis III	17,91	457,35



3 pav. I šviesos išdėstymo būdas ir temperatūrinis režimas.



4 pav. II šviesos išdėstymo būdas ir temperatūrinis režimas.



5 pav. III šviesos išdėstymo būdas ir temperatūrinis režimas.

Išvados

1. Pirmojo šviesos šaltinių išdėstymo atveju suminis temperatūros gradientas yra mažiausias nepriklausomai nuo didžiosios plokštelės storio.
2. Maksimalus temperatūros gradientas silpnai priklauso nuo padėkliuko medžiagos.
3. Tam, kad temperatūrinis režimas būtų kuo pastovesnis, šviesos šaltiniai turi būti išdėstomi taip, kad kiekvienoje eilutėje būtų visų tipų šaltinių ir įstrižainėse neturi būti vien tos pačios rūšies šaltinių.

Dėkojame Vilniaus universiteto Puslaidininkų fizikos katedros profesoriui habil. dr. Artūriui Žukauskui už uždavinio formulavimą ir konsultavimą.

Literatūra

- [1] A. Žukauskas, M.S. Shur, R. Gaska, *Introduction to Solid-State Lighting*, A Wiley-Interscience Publication (2002).
- [2] A. Žukauskas, R. Vaicekauskas, F. Ivanauskas, R. Gaska, M.S. Shur, Optimization of white polychromatic semiconductor lamps, *Appl. Phys. Lett.*, **80**(2), 234–236 (2002).
- [3] A.A. Samarskii, *Skirtuminių schemų teorija*, Nauka, Maskva (1983) (rusų k.).
- [4] W.F. Ames, *Numerical Methods for Partial Differential Equations*, 2nd ed., Academic Press, New York (1977).

The optimization of semiconductor light, generating white light, heating regime

J. Dabulytė, F. Ivanauskas

In this work the mathematical model of semiconductor light was employed. There were offered the distribution cases for monochromatic lighting sources.