

Modos mikrolustiniame lazeryje

Modes in microchip laser

Matas Plūkys^{1,2}, Eugenijus Gaižauskas^{1,2}, Darius Gailevičius^{1,2}, Kęstutis Staliūnas^{1,2}

¹Vilniaus universitetas, Fizikos fakultetas, Saulėtekio al. 9, Vilnius 10222

²Vilniaus universiteto Lazerių tyrimų centras, Saulėtekio al. 9, III rūmai, Vilnius 10222
matas.plukys@ff.vu.lt

Mikrolustinio lazerio modų susidarymą nulemia elektromagnetinio pluošto fazės ir amplitudės moduliacija aktyviojoje terpėje [1,2]. Šio tipo modos skiriasi nuo klasikinio rezonatoriaus [3]. Modų skirtumą lemia mikrolustinio lazerio plokšti veidrodžiai ir amplitudinė moduliacija.

Elektrinio lauko pasiskirstymą $A(r, \theta)$ mikrolustiniame rezonatoriuje nagrinėjame kliaudamiesi (1) lygtimi cilindrinėje koordinatų sistemoje:

$$\frac{\partial A}{\partial t} = -\rho A + id\nabla_{\perp} A + i\alpha(r)A + \gamma(r)A \quad (1)$$

Lygtis (1) yra sunormuota į vieno lėkio rezonatoriuje trukmę. Koeficientas ρ žymi nuostolius, atsirandančius rezonatoriuje per vieną lėkį. Į difrakcijos koeficiento išraišką $d = \frac{L\lambda}{2\pi}$ patenka rezonatoriaus ilgis L ir bangos ilgis λ . Per vieną lėkio trukmę pluoštas patiria fazinę $i\alpha(r)$ ir amplitudinę $\gamma(r)$ moduliacijas, kurios priklauso tik nuo radialinės dalies.

Lygtyje (1) atskiriami kintamieji:

$$A(r, \theta) = A_m e^{\lambda t} v(r) \omega(\theta) \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 \omega}{\partial \theta^2} = -\omega m^2 \quad (3)$$

$$r^2 \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + r \frac{\partial v}{\partial r} + r^2 v \left(\frac{i\alpha(r) + \gamma(r) - \lambda - \rho}{id} \right) - m^2 v = 0 \quad (4)$$

Laikome, kad stiprinimo ir fazinės moduliacijos profiliai yra cilindro formos:

$$\gamma(r) = \begin{cases} G_0, & \text{kai } r < R \\ 0, & \text{kai } r > R \end{cases} \quad (5)$$

$$\alpha(r) = \begin{cases} A_0, & \text{kai } r < R \\ 0, & \text{kai } r > R \end{cases} \quad (6)$$

Sunormuojame radialinę koordinatę į cilindro radiusą $\xi = r/R$ ir pažymime $\alpha^2 = R^2 \frac{iA_0 + G_0 - \lambda - \rho}{id}$, $\beta^2 = R^2 \frac{\lambda + \rho}{id}$, lygtis (4) tampa:

$$\begin{cases} \xi^2 \frac{\partial^2 v}{\partial \xi^2} + r \frac{\partial v}{\partial \xi} + \xi^2 v \alpha^2 - m^2 v = 0, & \text{kai } \xi < 1 \\ \xi^2 \frac{\partial^2 v}{\partial \xi^2} + r \frac{\partial v}{\partial \xi} - \xi^2 v \alpha^2 - m^2 v = 0, & \text{kai } \xi > 1 \end{cases} \quad (7)$$

Įvedame naują koeficientą ζ , žymintį potencialo barjero aukštį:

$$\alpha^2 + \beta^2 = \zeta^2 \quad (8)$$

Lygties (7) sprendiniai yra pirmos ir antros eilės Beselio funkcijos (9). Funkcijos potencialinėje duobėje turi būti baigtinės, o už duobės artėti į 0, kai $\xi \rightarrow \infty$.

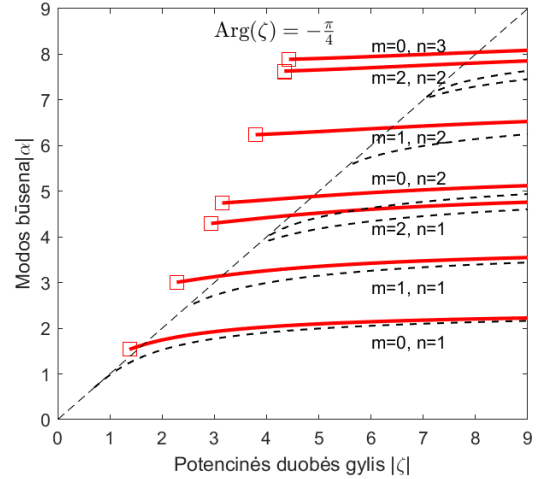
$$\begin{cases} v_m(\xi) = A_m J_m(\alpha_m \xi), & \text{kai } \xi < 1 \\ v_m(\xi) = A_m \frac{J_m(\alpha_m)}{K_m(\beta_m)} K_m(\beta_m \xi), & \text{kai } \xi > 1 \end{cases} \quad (9)$$

Koeficientai α_m ir β_m randami iš transcendentinės lygties:

$$\frac{\alpha_m J_{m-1}(\alpha_m)}{J_m(\alpha_m)} = \frac{\beta_m K_{m-1}(\beta_m)}{K_m(\beta_m)} \quad (10)$$

Potencialinis barjeras $\zeta = R \sqrt{\frac{A_0}{a} - i \frac{G_0}{a}}$ yra kompleksinis. Jo fazę lemia realus ir teigiamas G_0 bei realus, bet nebūtinai teigiamas A_0 .

Jeigu fazinės moduliacijos (termolėšio) nėra, $A_0 = 0$, tada $\arg(\zeta) = -\pi/4$. Šiuo atveju tik amplitudinė moduliacija ir difrakcija lemia pluošto formavimąsi. Didinant potencialinį barjerą $|\zeta|$, formuojasi vis aukštesnės eilės modos, kurių būsenos atvaizduotos 1 pav. Modų eilę žymi parametrai m ir n , atsirandantys iš lygties (3) bei Beselio funkcijos minimumų lygtyje (10).



1 pav. Modų atsiradimas ir jų būsenos kitimas, didinant potencialinį barjerą $|\zeta|$

Reikšminiai žodžiai: mikrolustinis lazeris, modos, termolėšis, amplitudinė moduliacija.

Literatūra

- [1] N. J. van Druten, Observation of transverse modes in a microchip laser with combined gain and index guiding, J. Opt. Soc. Am. B **18**(12), 1793-1804 (2001).
- [2] S. Longhi, Theory of transverse modes in end-pumped microchip lasers, J. Opt. Soc. Am. B **11**(6), 1098-1107 (1993).
- [3] H. Kogelnik, T. Li, Laser Beams and Resonators, Applied Optics **5**(10), 1550-1567 (1966).