

**Анализ изменений характеристик
диэлектрических волноводов, вызванных
механическими напряжениями**

выполнена

студентом группы ФРМ-602-О-07

Шефер К. И.

Научный руководитель:

к.ф.-м.н., доцент кафедры ЭФР

Болецкая Т. К.

Цель работы:

- Исследование изменений характеристик диэлектрических волноводов вследствие механических напряжений

Задачи:

- Изучить элементы теории упругости, необходимые для проведения анализа изменений характеристик диэлектрических волноводов, вызванных механическими напряжениями.
- Изучить метод конечных элементов в применении к расчету механических напряжений.
- Написать программу в среде Matlab для расчета механических напряжений, изменений показателей преломления и распределения электрического поля.

Виды полосковых волноводов

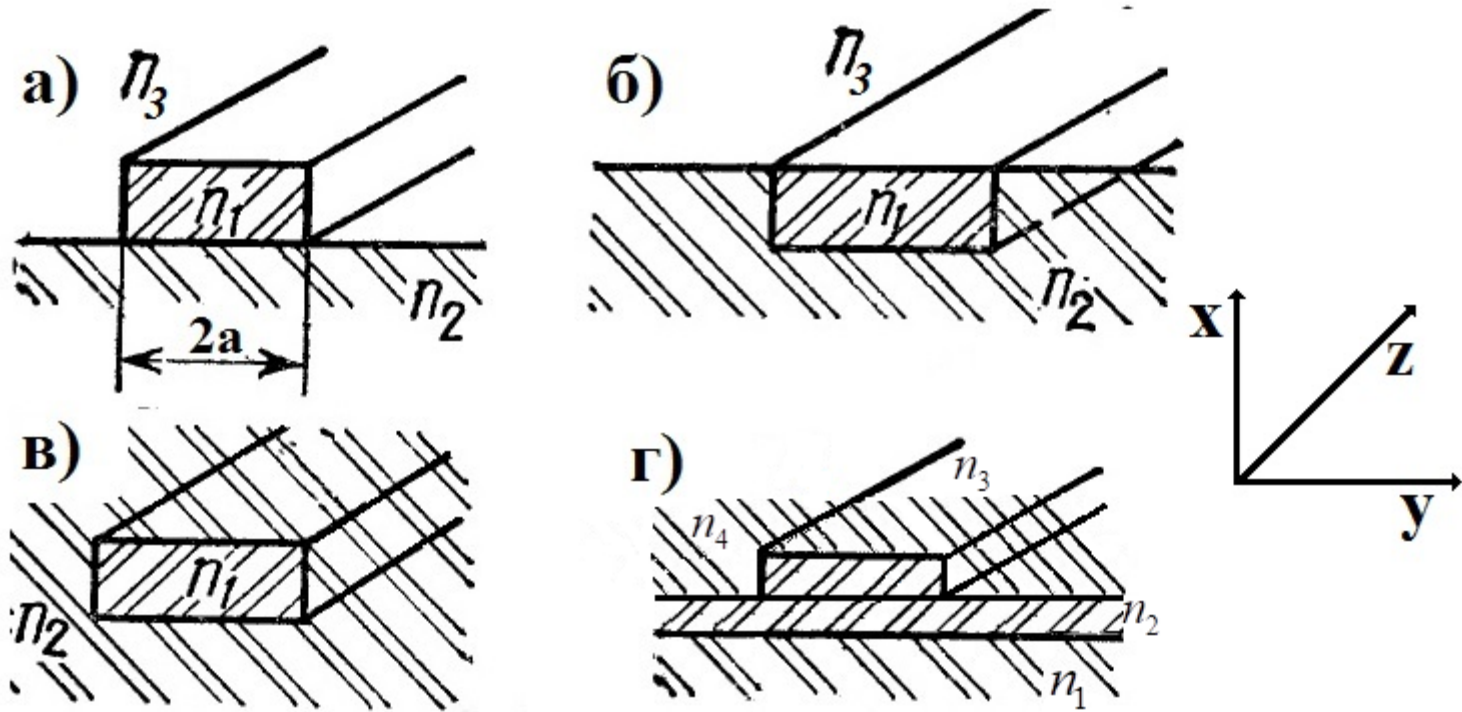


Рис. 1 Основные виды полосковых волноводов:

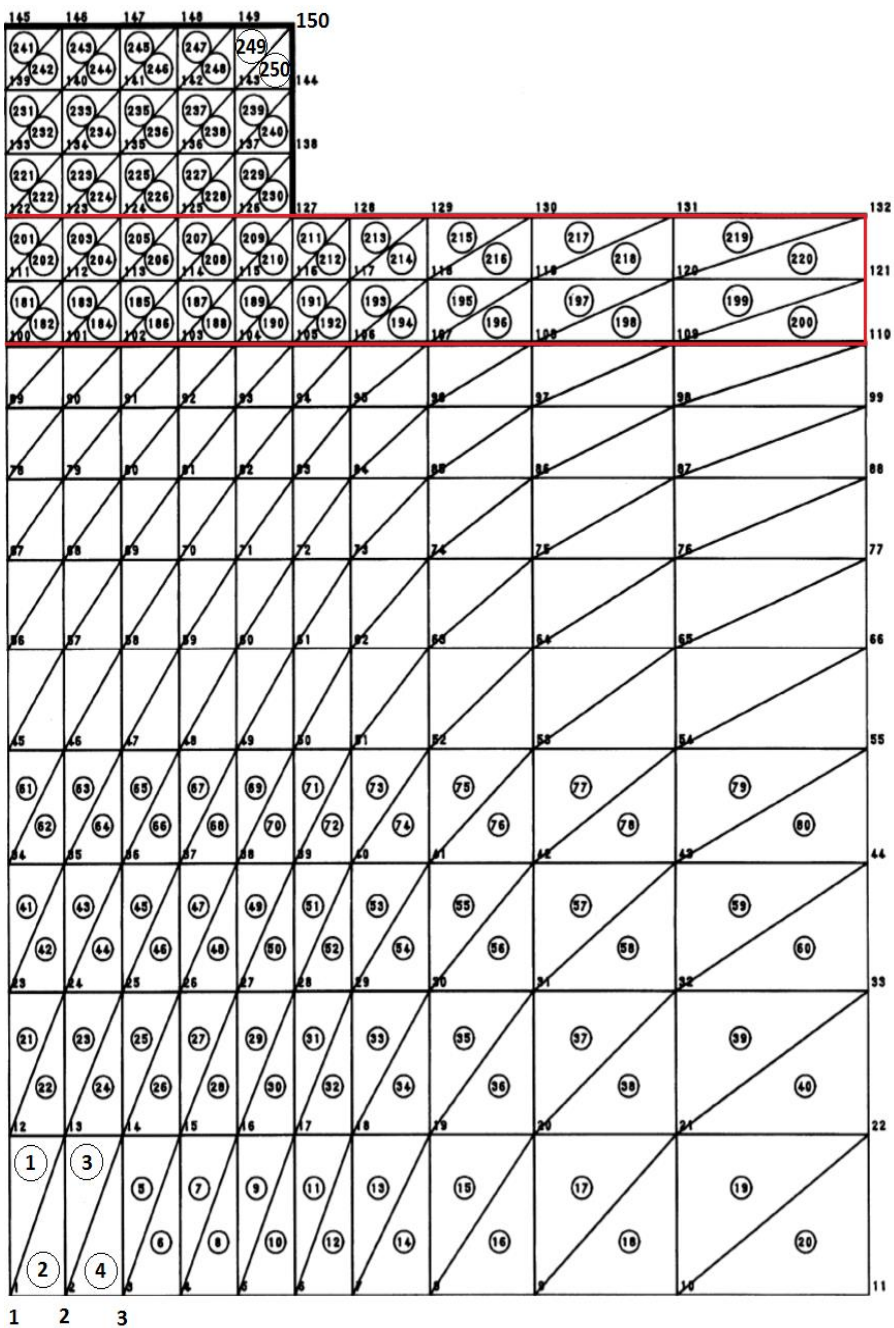
- а) приподнятый волновод,
- б) погруженный волновод,
- в) утопленный волновод,
- г) волновод с наложенной полоской.

$$\begin{cases} \varepsilon_{zz} = 0 \\ \varepsilon_{xz} = 0 \\ \varepsilon_{yz} = 0 \end{cases} \quad (1) \quad \{\varepsilon_0\} = (1+\nu)\alpha\Delta T \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xx} &= \frac{\partial u}{\partial x}, & \sigma_{xx} &= \frac{E}{(1-\nu^2)} [\varepsilon_{xx} + \nu\varepsilon_{yy}] - \frac{\alpha E\Delta T}{(1-\nu)}, \\ \varepsilon_{yy} &= \frac{\partial w}{\partial y}, & \sigma_{yy} &= \frac{E}{(1-\nu^2)} [\nu\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy}] - \frac{\alpha E\Delta T}{(1-\nu)}, \\ \varepsilon_{xy} &= \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}, & \sigma_{xy} &= \frac{E}{2(1+\nu)} \varepsilon_{xy}. \end{aligned} \quad (4) \quad (3)$$

$$\sigma_{zz} = \nu(\sigma_{xx} + \sigma_{yy}) - \alpha E\Delta T \quad (5)$$

$$U = \frac{1}{2} \iint \{\sigma\}' [\{\varepsilon\} - \{\varepsilon_0\}] dx dy \quad (6)$$



$N=250$ – треугольников

$m=150$ – узлов

Рис. 2 Разбиение сечения волновода на элементы.

$$\begin{cases} u(x, y) = p_0^e + p_1^e x + p_2^e y \\ w(x, y) = q_0^e + q_1^e x + q_2^e y \end{cases} \quad (7)$$

$$A\{d\} = \{H\} \quad (8)$$

$$\{d\} = A^{-1}\{H\} \quad (9)$$

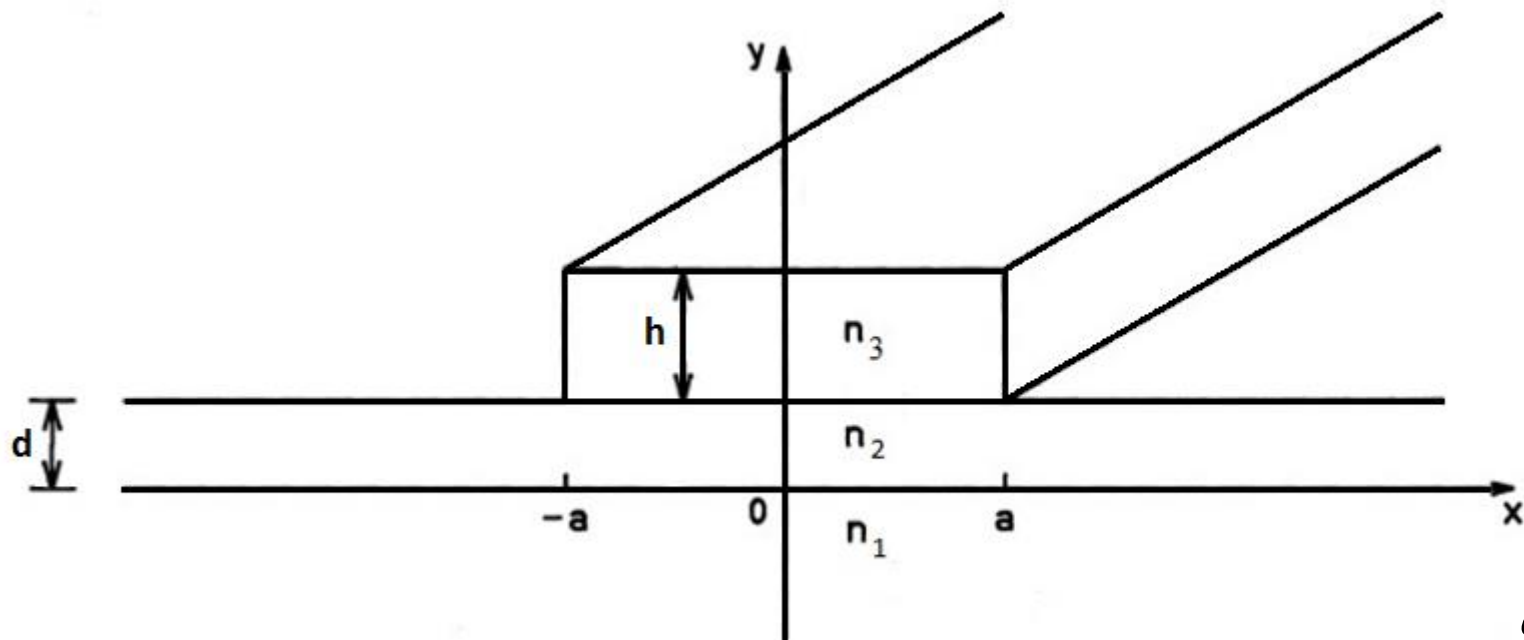
$$\{\sigma^e\} = D_e \left[B_e \{d^e\} - \{\varepsilon_0^e\} \right] \quad (10)$$

$$D^e = \frac{E^e}{(1+v^e)(1-2v^e)} \begin{bmatrix} (1-v^e) & v^e & 0 \\ v^e & (1-v^e) & 0 \\ 0 & 0 & (1-2v^e)/2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$B^e = \frac{1}{2S_e} \begin{bmatrix} (y_j - y_k) & 0 & (y_k - y_i) & 0 & (y_i - y_j) & 0 \\ 0 & (x_k - x_j) & 0 & (x_i - x_k) & 0 & (x_j - x_i) \\ (x_k - x_j) & (y_j - y_k) & (x_i - x_k) & (y_k - y_i) & (x_j - x_i) & (y_i - y_j) \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$A\{d\} = \{H\} \tag{8}$$

$$\begin{bmatrix}
 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\
 0 & 1 & \cdots & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\
 \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\
 0 & 0 & \cdots & A_{2i-2,2i-2} & A_{2i-2,2i-1} & A_{2i-2,2i} & \cdots & A_{2i-2,2n-1} & A_{2i-2,2n} \\
 0 & 0 & \cdots & A_{2i-1,2i-2} & A_{2i-1,2i-1} & A_{2i-1,2i} & \cdots & A_{2i-1,2n-1} & A_{2i-1,2n} \\
 0 & 0 & \cdots & A_{2i,2i-2} & A_{2i,2i-1} & A_{2i,2i} & \cdots & A_{2i,2n-1} & A_{2i,2n} \\
 \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\
 0 & 0 & \cdots & A_{2n-1,2i-2} & A_{2n-1,2i-1} & A_{2n-1,2i} & \cdots & A_{2n-1,2n-1} & A_{2n-1,2n} \\
 0 & 0 & \cdots & A_{2n,2i-2} & A_{2n,2i-1} & A_{2n,2i} & \cdots & A_{2n-1,2n-1} & A_{2n,2n}
 \end{bmatrix}
 \begin{pmatrix}
 u_1 \\
 w_1 \\
 \vdots \\
 w_{i-1} \\
 u_i \\
 w_i \\
 \vdots \\
 u_n \\
 w_n
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 0 \\
 0 \\
 \vdots \\
 H_{2i-2} \\
 H_{2i-1} \\
 H_{2i} \\
 \vdots \\
 H_{2n-1} \\
 H_{2n}
 \end{pmatrix}
 \tag{13}$$



$$a = 15 \text{ мкм}$$

$$h = 4 \text{ мкм}$$

$$d = 2 \text{ мкм}$$

Рис. 3 Волновод с наложенной полоской.

Область	Материал	Модуль Юнга кг/мм ²	Коэф. Пуассона	Коэф. теплового расшир. (°C ⁻¹)	показатель преломления
Подложка	GaAs	8700	0,31	6.4×10^{-6}	3,36
Пленка	GaAlAs	8620	0,315	5.8×10^{-6}	3,37
Полоска	SiO ₂	7830	0,186	5.4×10^{-7}	1,44

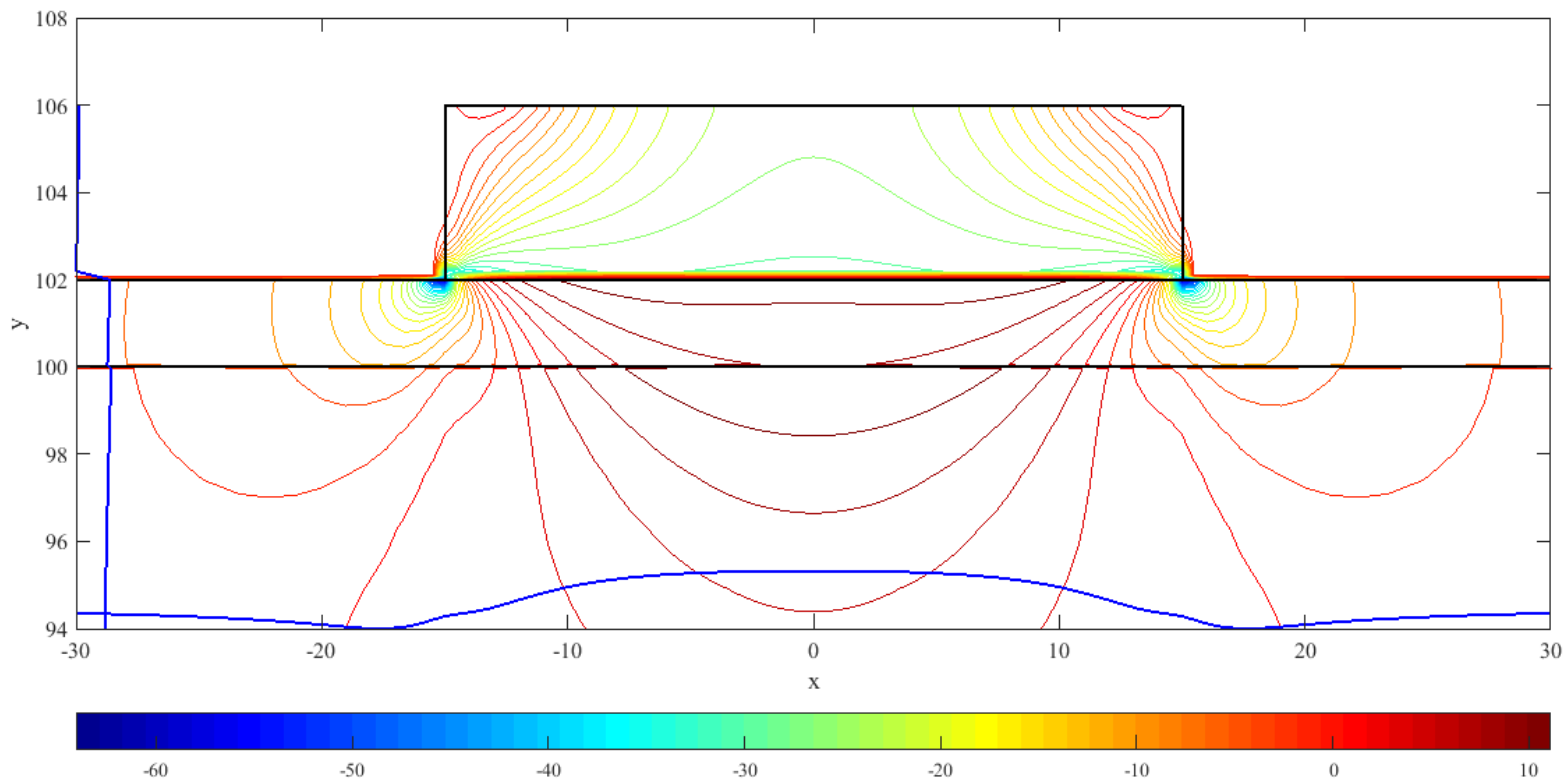


Рис. 4 Распределение компоненты σ_{xx} тензора напряжений.

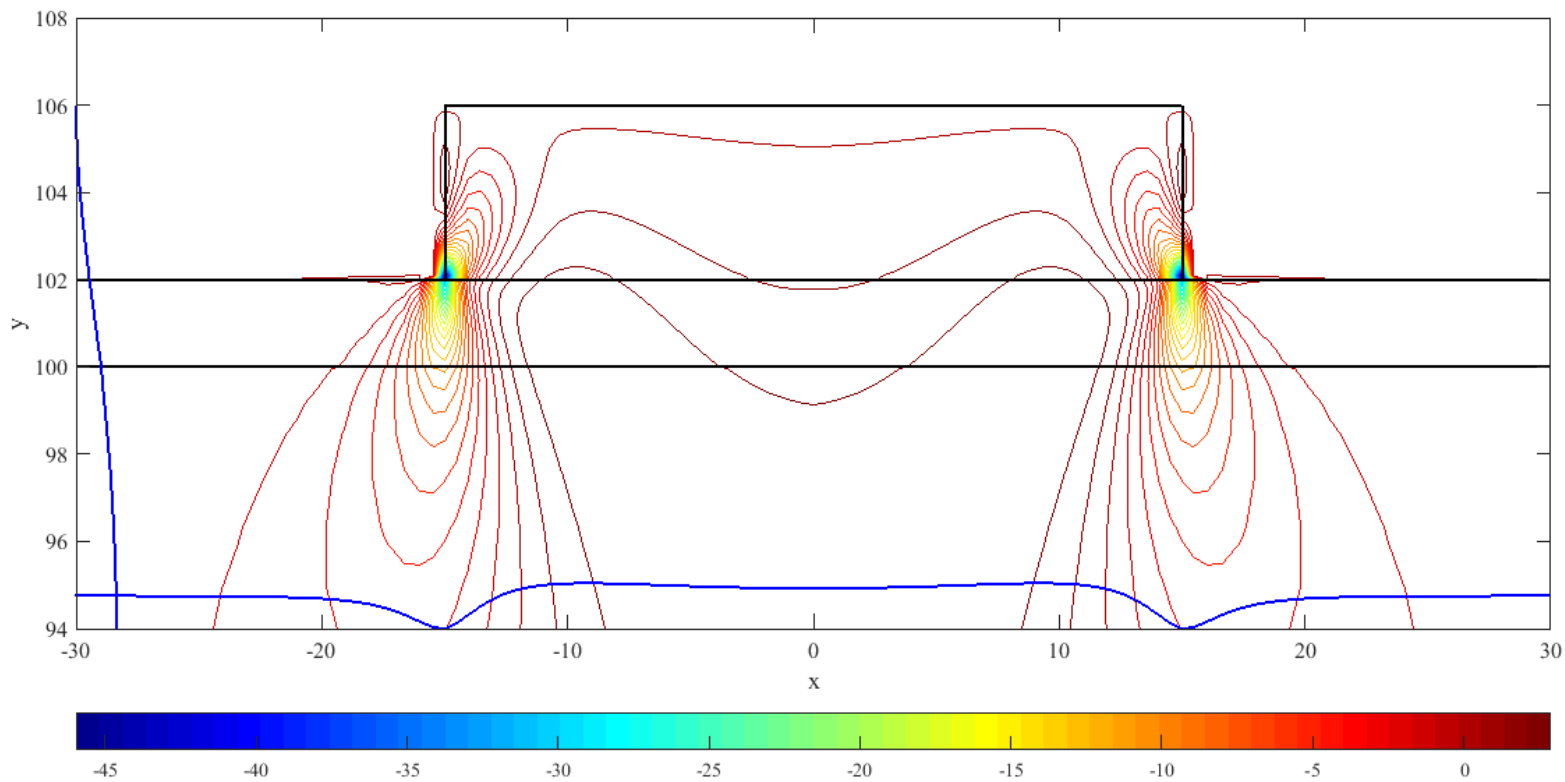


Рис. 5 Распределение компоненты σ_{yy} тензора напряжений.

$$n_x(x, y) = n_0(x, y) - C_1 \sigma_{xx}(x, y) - C_2 [\sigma_{yy}(x, y) + \sigma_{zz}(x, y)] \quad (14)$$

$$n_y(x, y) = n_0(x, y) - C_1 \sigma_{yy}(x, y) - C_2 [\sigma_{zz}(x, y) + \sigma_{xx}(x, y)] \quad (15)$$

Фотоупругие константы:

$$\begin{cases} C_1 = -1.72 \times 10^{-4} \quad [\text{mm}^2/\text{kg}] \\ C_2 = -1.0 \times 10^{-4} \quad [\text{mm}^2/\text{kg}] \end{cases} \text{ (GaAs)} \quad (16)$$

$$\begin{cases} C_1 = 7.42 \times 10^{-6} \quad [\text{mm}^2/\text{kg}] \\ C_2 = 4.102 \times 10^{-5} \quad [\text{mm}^2/\text{kg}] \end{cases} \text{ (SiO}_2\text{)} \quad (17)$$

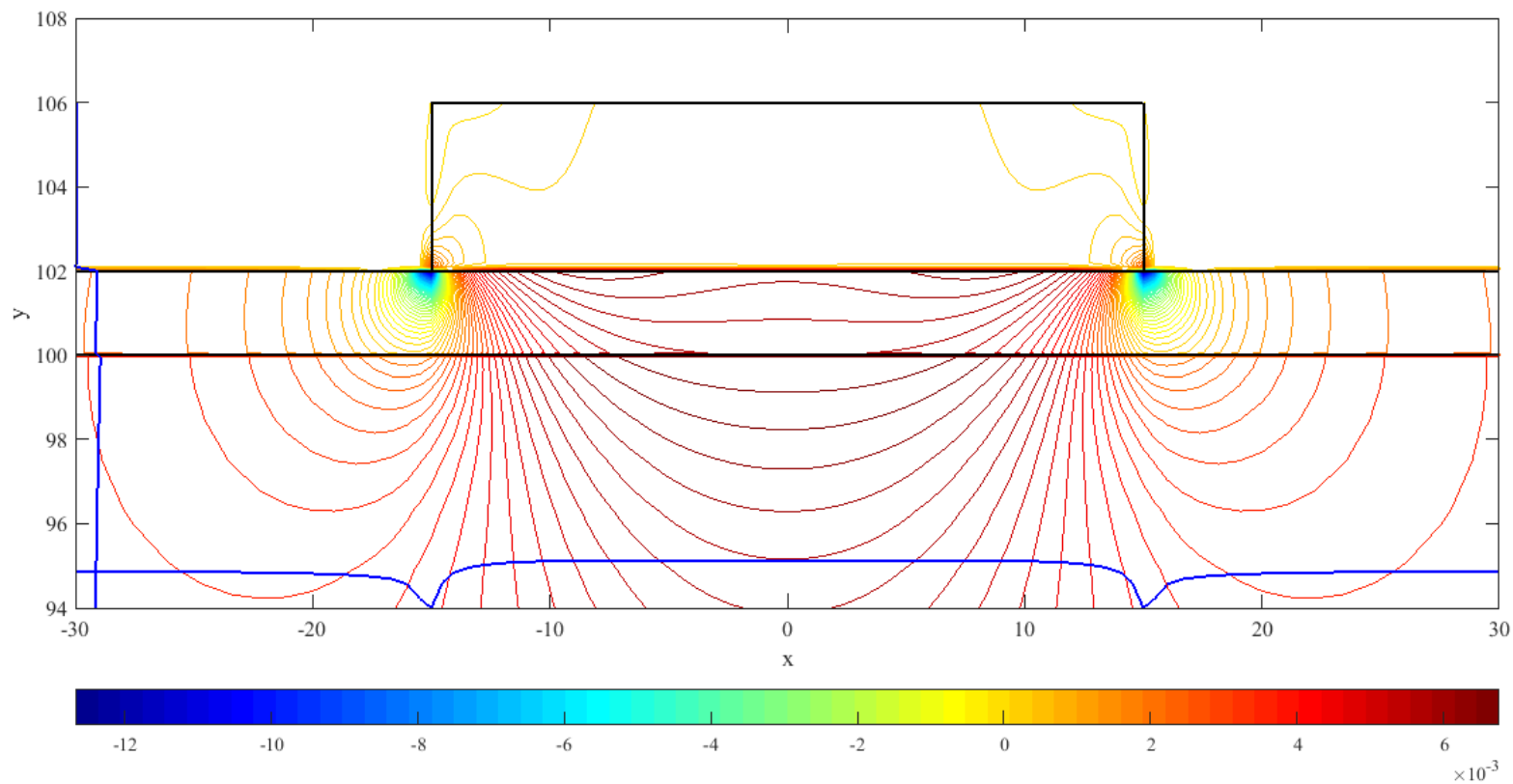


Рис. 6 Изменение показателей преломления $n_x - n_0$.

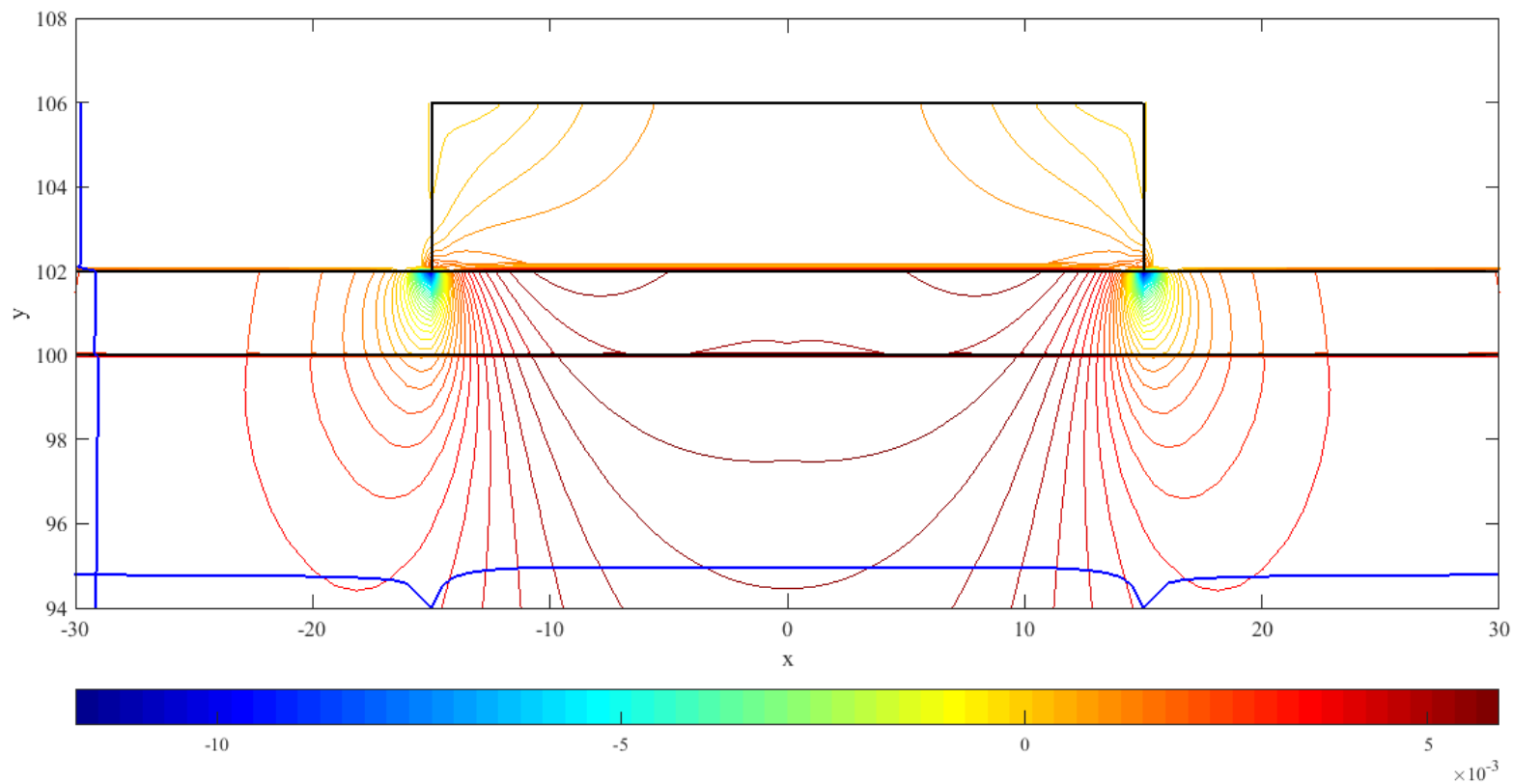


Рис. 7 Изменение показателей преломления $n_y - n_0$.

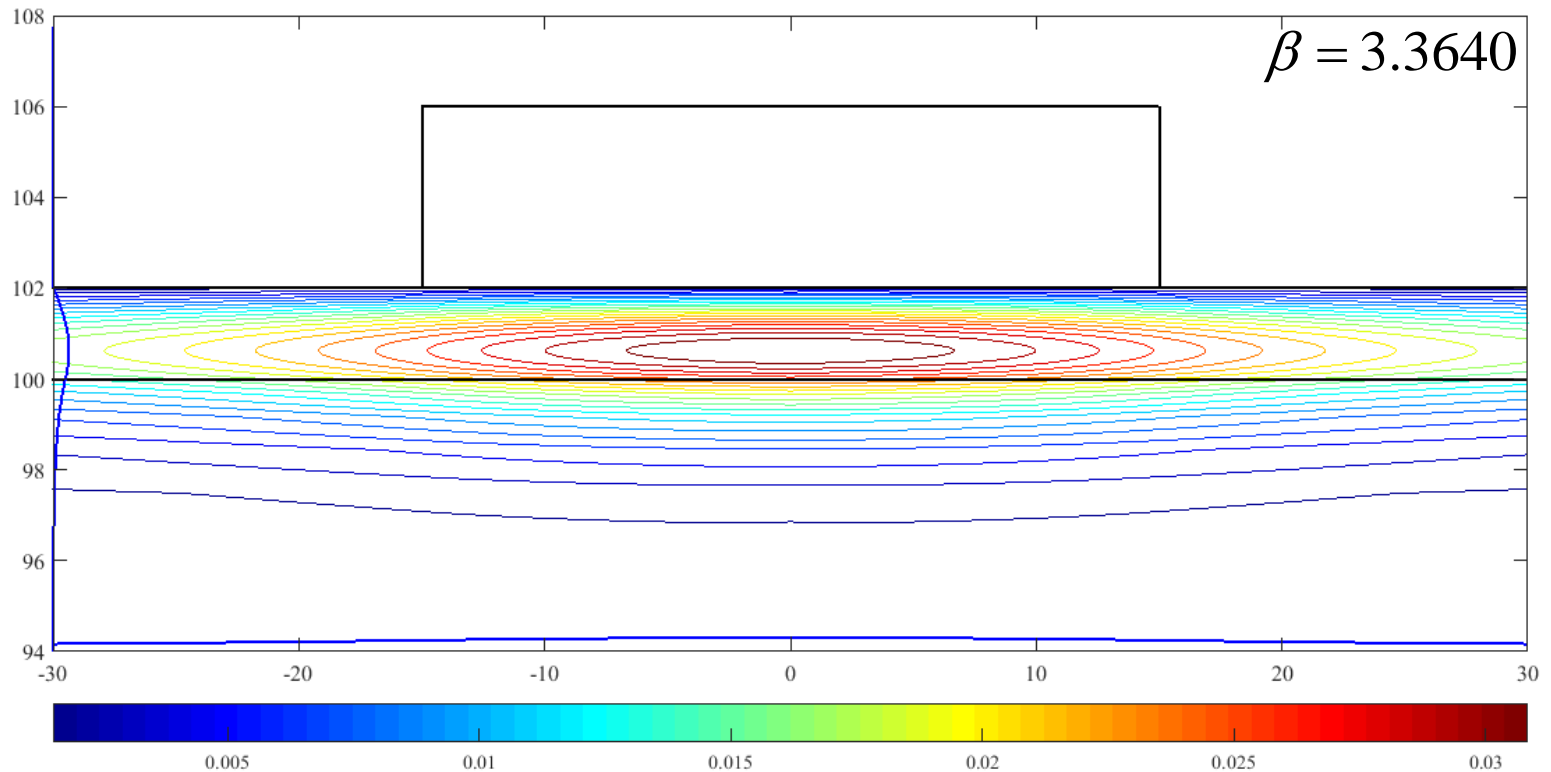


Рис. 8 Распределение электрического поля волны, без учетом изменения показателей преломления.

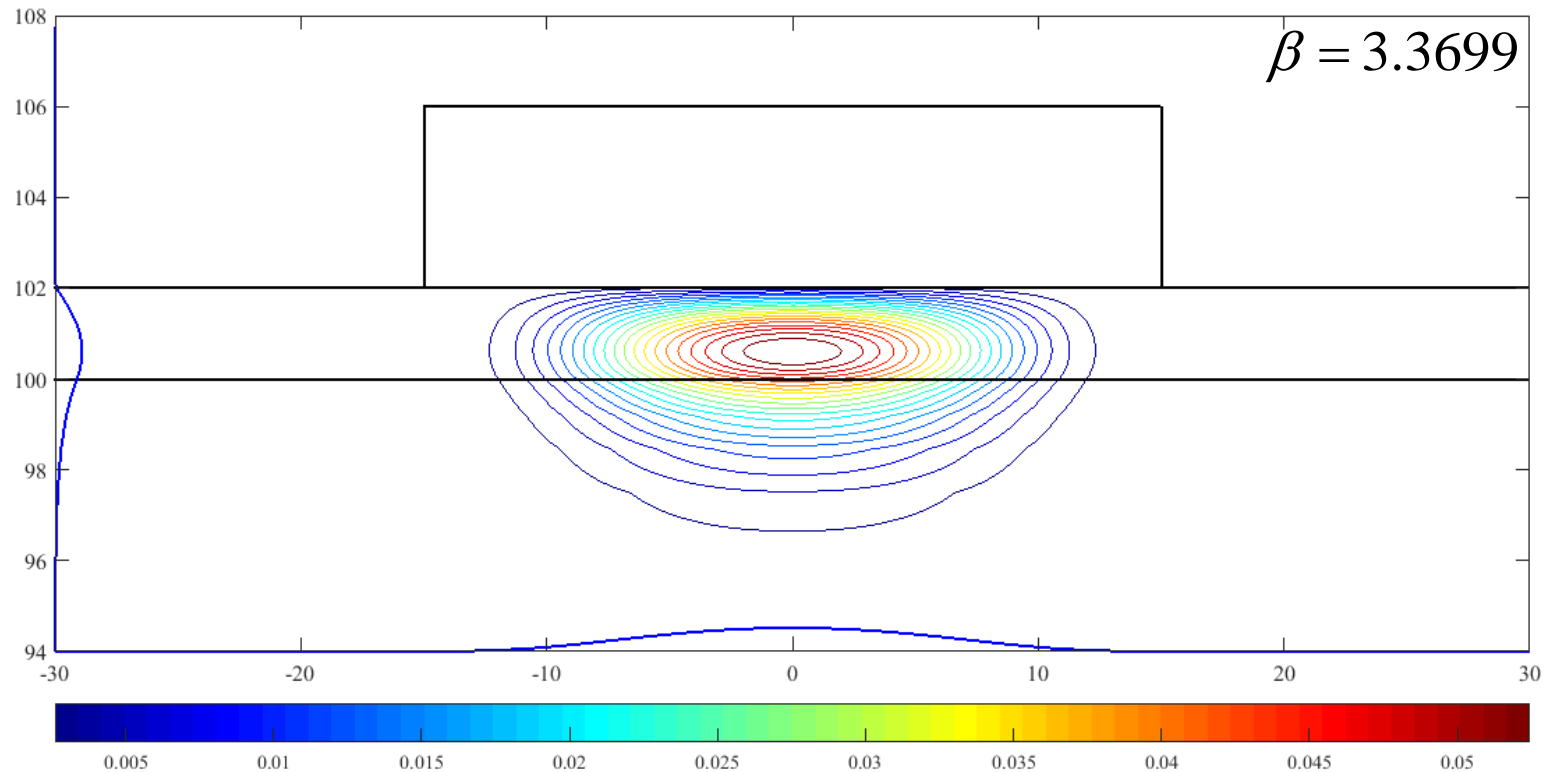


Рис. 9 Распределение электрического поля волны, поляризованной вдоль оси x , с учетом изменения показателей преломления.

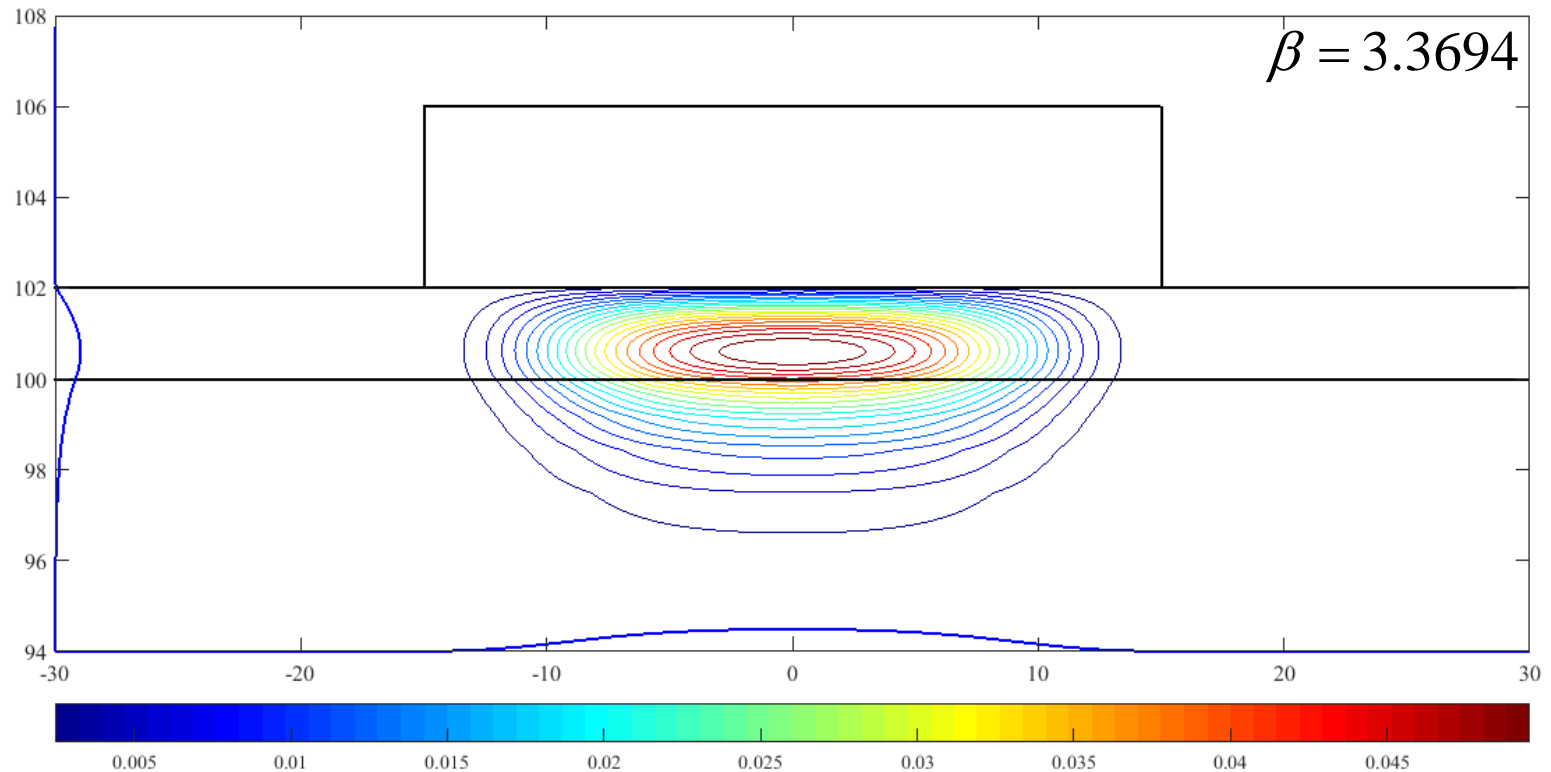


Рис. 10 Распределение электрического поля волны, поляризованной вдоль оси y , с учетом изменения показателей преломления.

Заключение

- Изучены элементы теории упругости, необходимые для проведения анализа изменения характеристик диэлектрических волноводов, вызванных механическими напряжениями.
- Изучен метод конечных элементов в применении к расчету механических напряжений.
- Написана программа в среде Matlab для расчета механических напряжений и изменений показателей преломления.
- Рассчитаны механические напряжения, возникающие в волноводе при его нагревании.
- Рассчитаны изменения показателей преломления, вызванные механическими напряжениями.
- Рассчитаны распределения электрического поля в волноводе.

Список литературы

- **Адамс М.** Введение в теорию оптических волноводов / Адамс М.; Перевод с англ. С.Г. Кривошлыкова. – М.: Мир, 1984. – 512 с.
- **Дональд Дж. Стерлинг** Техническое руководство по волоконной оптике/ Дональд Дж. Стерлинг; Перевод с англ. А. Московченко. – М.: Лори, 1998. – 181 с.
- **Р. Хансперджер** Интегральная оптика/ Р. Хансперджер; Перевод с англ. В. Ш. Берикашвили, А. Б. Мещерякова под редакцией В. А. Сычугова. – М.: Мир, 1985. – 193 с.
- **К. Okamoto** Fundamentals of Optical Waveguides / К. Okamoto; Second edition. – J.: Elsevier, 2006. – 578 с.
- **Унгер Х. Г.** Планарные и волоконные оптические волноводы; перевод с англ. Под редакцией В. В. Шевченко. – М.: Мир, 1980. – 646 с.
- **Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц** Теория упругости; –М.: Главная редакция физико- математической литературы, 1987. – 246 с.
- **Д. В. Сивухин** Общий курс физики механика; –М.: 1979. – 520 с.