УДК 535.58

# ДИСПЕРСИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ ТМ-ВОЛНЫ В ПЛОСКОСТИ (X, Y) В РОМБИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИИ ВОЛНОВОДА

**Медеубаева Жулдызай Танаткановна**
medeubaeva.1976@mail.ru
Магистрант ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
Научный руководитель –Тлеукенов С.К.

В настоящее время происходит интенсивное развитие технологий оптоэлектроники и интегральной оптики, значительно вырос интерес исследователей к волноведущим оптическим структурам.

Анизотропная среда – это среда, физические свойства которой зависят от направления. Анизотропная среда называется однородной, если зависимость ее свойств от направления в различных точках одинакова.

Среда может быть изотропной в отношении каких-либо одних физических свойств и анизотропной в отношении других [1].

Известно, что в анизотропных средах электромагнитные волны распространяются иначе чем в изотропных средах. В анизотропной среде оптические свойства зависят от направления распространения света и поэтому ориентация оптической оси волновода должна влиять на условия распространения собственных волн [2].

Информация, передаваемая по оптическим линиям связи, представляет собой последовательность импульсов. При движении по волноводу эти импульсы могут искажаться и затухать. Изменение длительности световых импульсов при их распространении по волноводу характеризуется Дисперсией. На практике дисперсия определяет скорость передачи данных по волноводу и передаваемую полосу частот.

Волноводной дисперсией называется уширение импульса, связанное с непосредственной зависимостью постоянной распространения от длины волны света [3].

$$dx \text{ плоскость } (x, y) \qquad (H_z E_y);\ k_z = 0$$

$$\frac{d\vec{w}}{dx} = \begin{pmatrix} 0 & b_{12} \\ b_{21} & 0 \end{pmatrix} \omega = B\vec{\omega}\,; \qquad \vec{\omega} = (H_z E_y)^t$$

$$b_{12} = -i\omega\varepsilon_y\,; \qquad b_{21} = -i\omega\mu_z + \frac{k_y^2}{\omega\varepsilon_x}$$

$$dy \text{ плоскость } (x, y) \qquad (H_z E_y);\ k_z = 0$$

$$\frac{d\vec{w}}{dx} = B\vec{\omega} = \begin{pmatrix} 0 & b_{12} \\ b_{21} & 0 \end{pmatrix} \vec{\omega}\,; \qquad \vec{\omega} = (H_z E_y)^t$$

$$b_{12} = i\omega\varepsilon_y\,; \qquad b_{21} = i(\omega\mu_z + \frac{k_x^2}{\omega E_y})$$

$$deb\ (\beta^2 + k_x^2 I) = 0 \qquad I = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ v & 1 \end{pmatrix}$$

$$\beta^2 = b_{12}b_{21}I;\Rightarrow \quad b_{12}b_{21} + k_x^2 = 0$$

$$b_{12}b_{21} = -\omega^2\varepsilon_y\mu_z + \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x}k_x^2 = k_y^2$$

$$k_x = k\cos\theta; \qquad k_y = k\sin\theta$$

$$k^2 = \left(cos^2\theta + \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x}sin^2\theta\right) = \omega^2\varepsilon_y\mu_z$$

$$k^2 = \frac{\omega^2 \varepsilon_y \mu_z \varepsilon_x}{\varepsilon_x cos^2\theta + \varepsilon_y sin^2\theta}; dy(x,y)$$

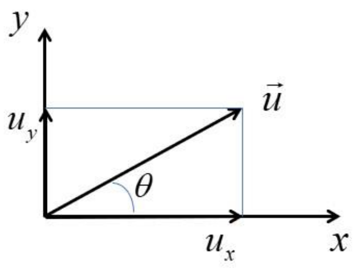


Рисунок 1 – компоненты волнового вектора $k_x$ $k_y$ (ось x)

$$deb\ (\beta^2 + k_x^2 I) = 0 \qquad\qquad I = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ v & 1 \end{pmatrix}$$

$$\beta^2 = b_{12} b_{21} I; \Rightarrow \qquad b_{12} b_{21} + k_x^2 \ = 0$$

$$b_{12} b_{21} = -\omega^2 \varepsilon_y \mu_z + \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} k_x^2 = k_y^2$$

$$k^2 = \frac{\omega^2 \varepsilon_y \mu_z \varepsilon_x}{\varepsilon_x cos^2\theta_1 + \varepsilon_y sin^2\theta_1};$$

$$k_y = k \cos\theta_1; \quad k_x = k \cos\theta_1$$

$\theta -$ угол между осью $x$ и вектором $k$; $\theta_1 -$ угол между осью $y$ и вектором $k$

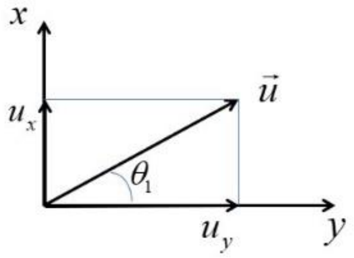


Рисунок 2 – компоненты волнового вектора $k_x$ $k_y$ (ось y)

Поэтому $\theta + \theta_1 = \frac{\pi}{2}$; $\qquad \theta_1 = \frac{\pi}{2} - \theta$

$$sin\theta_1 = \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = -cos\theta_1 = sin\theta_1$$

$$cos\theta_1 = \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = -sin\theta = cos\theta$$

Уравнение дисперсии

1. $\frac{d\vec{w}}{dx} = \begin{pmatrix} 0 & b_{12} \\ b_{21} & 0 \end{pmatrix} \vec{W}$; $\qquad\qquad \vec{W} = \left(H_{z_1} E_4\right)^t$.

$T = I \cos k_x x + \frac{B}{k_x} \sin k_x x$- матрицант

Матрицант- нормированного решения уравнения (1)

Граничные условия:

$$x = 0 \qquad E_y = 0; \qquad x = h \qquad E(h) = 0$$

*Из решения:*

$$\underset{\omega}{\rightarrow}(x) = T\vec{w}_{0=}\begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} H_z \\ E_y \end{pmatrix}$$

Следует:

$$\vec{\omega}(h) = T\overrightarrow{w_0} = j\begin{pmatrix} H_z \\ 0 \end{pmatrix} h = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} H_z \\ 0 \end{pmatrix}$$

Из условия (24) получим:

$$t_{21}H_{z_0} = 0 \qquad\qquad H_{z_0} \neq 0$$

Поэтому

$$b_{21} = 0 \qquad\qquad b_{21} = \frac{1}{k_x} b_{21} \sin k_x h$$

Или

$$-i\left[\omega\mu_z - \frac{k_y^2}{\omega\varepsilon_x}\right] sink_x h = 0 => sink_x h = 0$$

Откуда следует

$$k_x h = k\pi$$

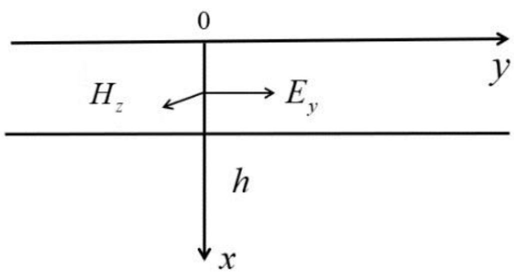


Рисунок 3 – Плоский волновод. ТМ волна $\left(H_z, E_y\right)$ по оси ОУ

2. $\frac{d\vec{w}}{dx} = \begin{pmatrix} 0 & b_{12} \\ b_{21} & 0 \end{pmatrix}\vec{\omega}$; $\qquad \vec{\omega} = (H_z, E_x)^t.$

$$T = I\cos k_x y + \frac{B}{k_y}\sin k_y y$$

Матрицант

Граничные условия

$$y = 0 \qquad E_x(0) = 0; \qquad y = h \qquad E_x(h) = 0$$

$$\vec{\omega}(h) = T\overrightarrow{\omega_0}(0) \qquad \begin{pmatrix} H_z \\ 0 \end{pmatrix} h = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} H_z \\ 0 \end{pmatrix}_0$$

Из (33) следует:

$$b_{21}H_{z0} = 0; \qquad H_{z0} \neq 0$$

Поэтому:

$$b_{21} = b_{21} = \frac{1}{k_y}\sin k_y h = 0$$

Откуда

$$k_y h = h\pi$$

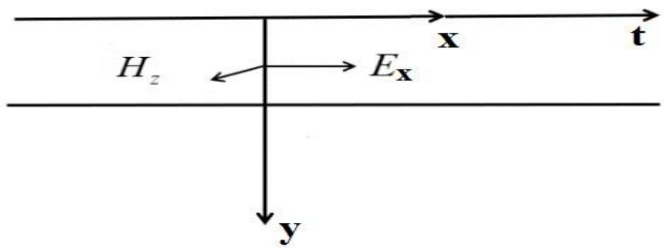


Рисунок 4 – Плоский волновод. ТМ волна $\left(H_z, E_y\right)$ по оси ОХ

Фазовая и групповая скорости ТМ-волн в волноводе

1. Рассматривается распространение волн ТМ-поляризации в плоскости xy.

Толщина: $0 \leq x \leq h$

Нормальные определяются из условия

$$k_y h = h\pi$$

Тогда:

$$kx^2 = \frac{k^2\pi^2}{h^2} = k^2 \cos^2\theta = \frac{\omega^2 \varepsilon_y \varepsilon_k \mu t \cos^2\theta}{k_0^2\left(\varepsilon_x \cos^2\theta + \varepsilon_y \sin^2\theta\right)}$$

Откуда:

$$\omega^2 = \frac{k^2\pi^2}{h^2} = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y k y^2 \theta}{\varepsilon_y \varepsilon_x \mu z}$$

Фазовая скорость следует из соотношения:

$$v_1^2 = \frac{\omega^2}{k_y^2} = v_0^2 \left[1 - \frac{k^2\pi^2\varepsilon_k}{\omega^2 h^2 \varepsilon_y} v_0^2\right]^{-1}$$

$$k_y^2 = k^2 - k_x^2$$

$$v_1^2 = \frac{1}{\mu_z \varepsilon_x}$$

Получены уравнение дисперсии поляризации ТМ-волны в плоскости ( x,y) в ромбической анизотропии волновода, фазовые и групповые скорости ТМ-волн в волноводе.

**Список использованных источников**

1. Насыров И.А., Когогин Д.А., Лунев И.В.Распространение электромагнитных волн в анизотропных гиромагнитных средах: учебно-методическое пособие: электронный образовательный ресурс-Казань: Институт физики КФУ. 2021.-58с.
2. Моисеева Н.М. Расчет собственных волн планарного анизотропного волновода для различных положений оптической оси: Волгоградский государственный университет. 2012.-6с.
3. Зеленовский П.С.Основы интегральной и волоконной оптики: – Екатеринбург: Издательство Уральского университета. 2019.-132с.
4. Тлеукенов С.К. Электромагнитные волны в анизотропных средах. Учебное пособие 2010г. 81с.