ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра радиоэлектроники и защиты информации (РЗИ)

Презентация на тему:

«Исследование оптических волноводов с цилиндрической симметрией»

Выполнил:

Студент гр. 1А1

Загородников А. А.

Введение

- Объектом исследования являются волноводы с цилиндрической симметрией. Работа велась с математической моделью оптического волокна простого типа, которое действует на основе принципа радиального изменения показателя преломления, который как правило является положительным. Однако, в середине прошлого века были искусственно созданы метаматериалы с отрицательным показателем преломления, но на тот момент эффект отрицательного преломления ЭМ - волны можно было наблюдать только в СВЧ-диапозоне. В наше время изучение и создание метаматериалов является актуальной проблемой в научном сообществе.
- Таким образом, основная цель данной исследовательской работы изучение свойств цилиндрического волновода, у которого показатели преломления сердцевины и оболочки могут принимать отрицательные значения, а так же сравнение со свойствами волноводов имеющих положительные показатели преломления.

1 Материалы с отрицательным показателем преломления

- Метаметриалы являются продуктом реализации идеи о возможности получения отрицательного показателя преломления света. В этих материалах свет преломляется не так, как обычно, т. е. не вправо, а влево под отрицательным углом. Такие материалы называют левосторонними (*Left-Handed Materials - LHM*). Проф. В.Г. Веселаго назвал их левыми средами, т.к. в них векторы напряженности **E** и **H** вместе с волновым вектором **k** ЭМ-волны образуют «левую» тройку векторов.

Плоские электромагнитные волны

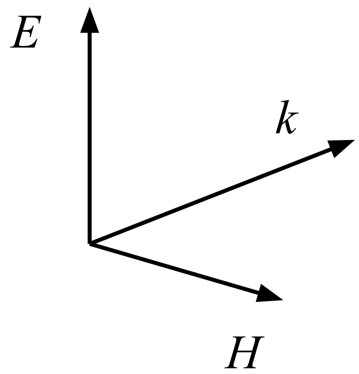
$$\tilde{\boldsymbol{E}} = \boldsymbol{E} \exp[i(\omega t - \boldsymbol{k} \cdot \boldsymbol{r})]$$

$$\tilde{\boldsymbol{H}} = \boldsymbol{H} \exp[i(\omega t - \boldsymbol{k} \cdot \boldsymbol{r})]$$

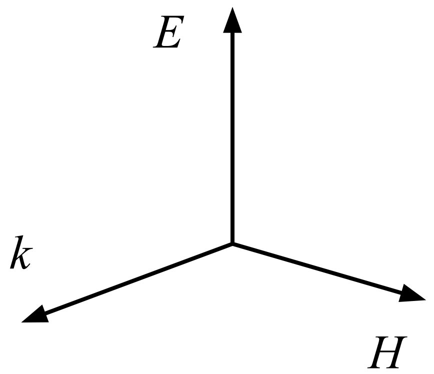
Уравнения Максвелла

$$\begin{cases} \nabla \times \tilde{\mathbf{E}} = -\mu\mu_0 \dfrac{\partial \tilde{\mathbf{H}}}{\partial t} \\ \nabla \times \tilde{\mathbf{H}} = \varepsilon\varepsilon_0 \dfrac{\partial \tilde{\mathbf{E}}}{\partial t} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \mathbf{k} \times \mathbf{E} = \mu\mu_0 \omega \mathbf{H} \\ \mathbf{k} \times \mathbf{H} = -\varepsilon\varepsilon_0 \omega \mathbf{E} \end{cases}$$

Правая среда: $\varepsilon>0$ и $\mu>0$



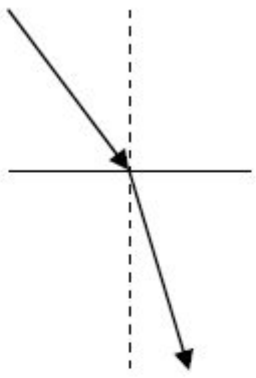
Левая среда: $\varepsilon<0$ и $\mu<0$



Преломление лучей на границе сред

«правая-правая»

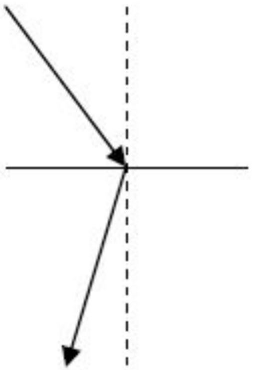
$\varepsilon_1>0$ и $\mu_1>0$



$\varepsilon_2>0$ и $\mu_2>0$

«правая-левая»

$\varepsilon_1>0$ и $\mu_1>0$



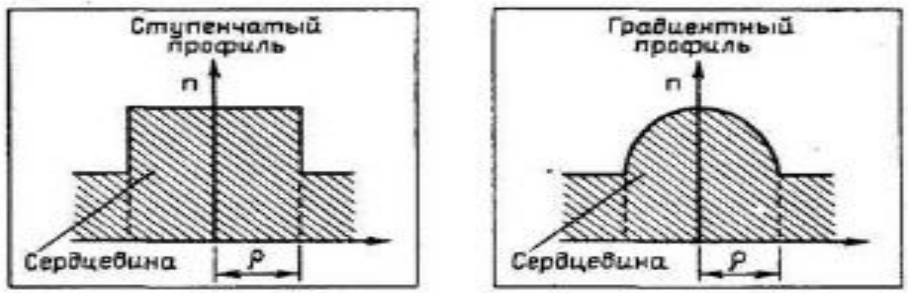
$\varepsilon_2<0$ и $\mu_2<0$

2 Волноводы с цилиндрической симметрией

- 2.1 Оптические волокна
- Термин «оптическое волокно» характеризует один из типов диэлектрических волноводов, направляющих световые волны. Эти волноводы называются волокнами из-за их нитевидности.

Устройство оптических волокон

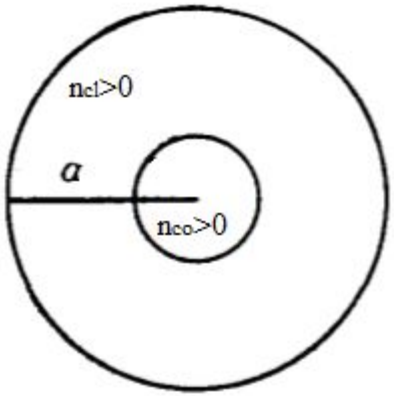
Профиль показателя преломления

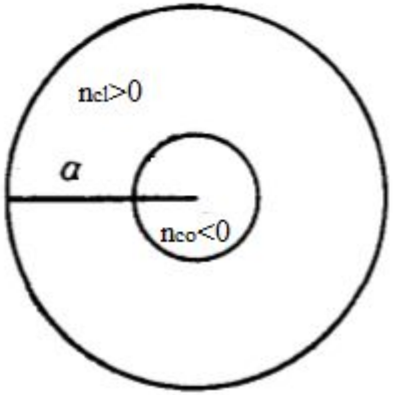


Исследовались два оптических волокна со следующими параметрами:

$$\varepsilon = \begin{cases} \varepsilon_{co}, & 0 \le r \le a \\ \varepsilon_{cl}, & r > a \end{cases} \qquad \mu = \begin{cases} \mu_{co}, & 0 \le r \le a \\ \mu_{cl}, & r > a \end{cases}$$

- $\varepsilon_{co}>0$ и $\mu_{co}>0$ $\varepsilon_{cl}>0$ и $\mu_{cl}>0$ $\varepsilon_{co}<0$ и $\mu_{co}<0$ $\varepsilon_{cl}>0$ и $\mu_{cl}>0$





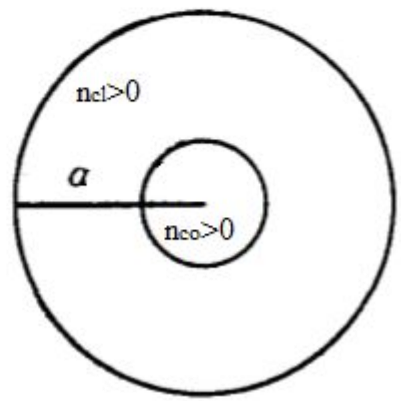
Закон Снеллиуса (Снелля)

$$n = \sqrt{\varepsilon \cdot \mu}$$

Во втором случае отрицательный коэффициент n преломления обусловлен сильной пространственной дисперсией метаметериала и отрицательными значениями ε и μ.

- Для каждого оптического волокна были выведены дисперсионные уравнения, решением которых являются постоянные распространения β.

$$\varepsilon_{co}>0 \text{ и } \mu_{co}>0 \quad \varepsilon_{cl}>0 \text{ и } \mu_{cl}>0$$



$$\left[\left(\frac{1}{\chi^2}+\frac{1}{\gamma^2}\right)\cdot\frac{\beta}{a}\cdot i\cdot\nu\cdot Jn(\nu,\chi\cdot a)\right]^2 = \omega^2\cdot\varepsilon_0\cdot\mu_0\cdot\left(\mu_{cl}\cdot\frac{Jn(\nu,\chi\cdot a)}{Kn(\nu,\gamma\cdot a)}\cdot\frac{Kn(\nu-1,\gamma\cdot a)+Kn(\nu+1,\gamma\cdot a)}{2\cdot\gamma}-\mu_{co}\cdot\frac{Jn(\nu-1,\chi\cdot a)-Jn(\nu+1,\chi\cdot a)}{2\cdot\chi}\right)\cdot$$

$$\left(\varepsilon_{co}\cdot\frac{Jn(\nu-1,\chi\cdot a)-Jn(\nu+1,\chi\cdot a)}{2\cdot\chi}-\varepsilon_{cl}\cdot\frac{Jn(\nu,\chi\cdot a)}{Kn(\nu,\gamma\cdot a)}\cdot\frac{Kn(\nu-1,\gamma\cdot a)+Kn(\nu+1,\gamma\cdot a)}{2\cdot\gamma}\right)$$

- Здесь $\chi^2 = k^2 - \beta^2 \qquad \gamma^2 = \beta^2 - k^2 \qquad k^2 = k_0^2\cdot\varepsilon\ \cdot\mu$