

ТЕНЗОР ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ИЗОГНУТЫХ ПО СПИРАЛИ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Широкое применение в волоконно-оптических системах передачи (ВОСП) находят различные устройства, использующие анизотропные компоненты. К таким устройствам можно отнести модуляторы света, поляризаторы, призмы и другие. В ВОСП могут также использоваться оптические волокна (ОВ), обладающие анизотропными свойствами. Некоторые кристаллы, например, на основе ниобата лития, турмалина, герпатита обладают естественной анизотропией. Что же касается создания искусственной анизотропии в оптических средах, то она может быть получена двумя путями, один из которых – это использование воздействия на среду внешнего электрического поля, под воздействием которого молекулы среды ориентируются определенным образом. Второй путь создания анизотропных оптических волокон – это воздействие механическими нагрузками на ОВ, в результате чего возникают механические напряжения во внутренней структуре среды, называемые *фотоупругостью*.

Фотоупругими свойствами ОВ обладают в случае изгиба их по пространственной спирали в охлажденном состоянии (при комнатной температуре), что является естественной формой укладки ОВ в сердечнике оптического кабеля (ОК).

Целью данных тезисов является исследование элементов тензора диэлектрической проницаемости ОВ, обладающего свойством фотоупругости, которое можно использовать при разработке ОК с улучшенными параметрами передачи ОВ.

Анизотропия складывается в целом, как известно, из анизотропии отдельных частиц и из анизотропии, обусловленной их упорядочением в пространстве, что определяет зависимость электрических свойств среды от направления.

Как известно, в анизотропных средах вектор электрической индукции \bar{D} связан с вектором напряженности электрического поля \bar{E} соотношением:

$$\bar{D} = \boldsymbol{\epsilon} \cdot \bar{E}, \quad (1)$$

где $\boldsymbol{\epsilon}$ – тензор диэлектрической проницаемости среды.

В работах Т.В. Макарова были получены выражения, определяющие элементы тензора диэлектрической проницаемости в зависимости от шага p и радиуса R скрутки спирали.

Соотношения, определяющие элементы тензора получены, как для декартовой, так и для цилиндрической систем координат.

Так, например, в цилиндрической системе координат элементы тензора $\boldsymbol{\epsilon}$ определяются соотношениями (1).

$$\begin{aligned} \epsilon_{rr} &= \epsilon_{\varphi\varphi} = \epsilon(r), \\ \epsilon_{r\varphi} &= \epsilon_{\varphi r} = \epsilon_{rz} = \epsilon_{zr} = 0, \\ \epsilon_{\varphi z} &= \epsilon_{z\varphi} = -v \cdot r, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\epsilon_{zr} = \epsilon(r) - 2 \cdot \chi r \cos \varphi + \chi^2 r^2 \cos^2 \varphi + v^2 r_2,$$

где $\epsilon(r)$ – диэлектрическая проницаемость изотропного прямолинейного ОВ; r, φ, z – текущие координаты цилиндрической системы;

χ и v – параметры, характеризующие кривизну и кручение спирали соответственно, определяемые в зависимости от шага и радиуса спирали;

$$\chi = \frac{R}{R^2 + \left(\frac{p}{2\pi}\right)^2} \quad \text{и} \quad v = \frac{p}{2\pi} \cdot \frac{1}{R^2 + \left(\frac{p}{2\pi}\right)^2}. \quad (3)$$

Был вначале произведен расчет диэлектрической проницаемости ϵ изотропного прямолинейного ОВ, сердцевина которого изготовлена из чистого кварца SiO_2 . Профиль показателя преломления ППП – ступенчатый. Расчет ϵ производился для средней длины волны λ четвертого окна

прозрачности, равной 1,59 мкм. Параметры спирали были приняты следующие: радиус $R = 5$ мм и шаг скрутки $p = 100$ мм. Графики зависимости ϵ_{zz} от координаты φ приведены на рис. 1.

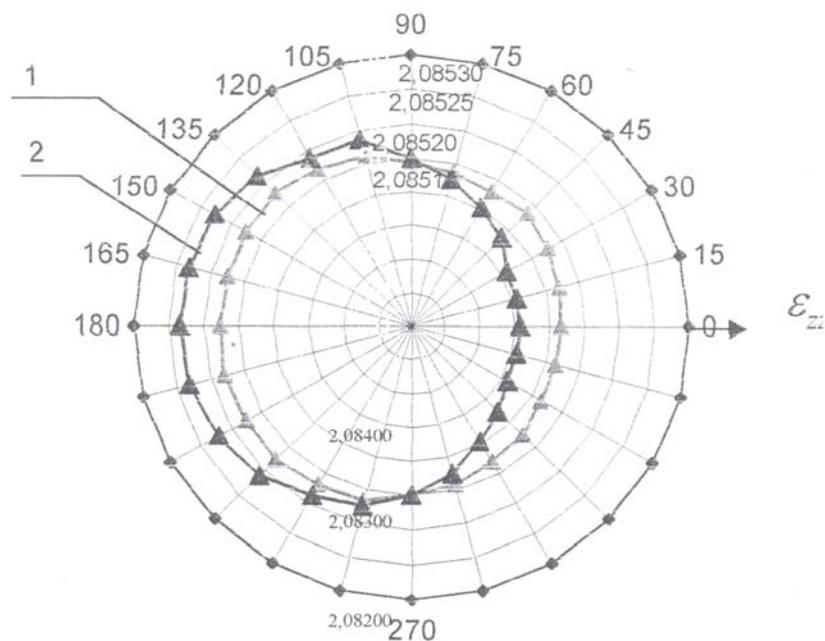


Рисунок 1 – Зависимость ϵ_{zz} от φ ($R = 5$ мм, $p = 100$ мм)

При этом кривая 1 соответствует радиальной координате r , равной 1 мкм, а кривая 2 – 2,5 мкм.

Как видно из соотношений (2), элемент тензора диэлектрической проницаемости ϵ_{zz} в анизотропном ОВ отличался от диэлектрической проницаемости ϵ изотропного прямолинейного ОВ на некоторую величину $\Delta\epsilon$. Была рассчитана прибавка $\Delta\epsilon$ для скрученного по спирали ОВ для различных шагов скрутки p , равных 50, 75, 100 мм, а также двух значений радиуса изгиба спирали R , равных 5 и 10 мм.

Элементы тензора $\epsilon_{\varphi z}$ и $\epsilon_{z\varphi}$, зависящие от кручения спирали, определяются в зависимости от параметра ν , который рассчитан для различных значений p и R .

Представляет также интерес исследовать зависимость ϵ_{zz} от координат поперечного сечения декартовой системы. С этой целью был произведен расчет ϵ_{zz} в зависимости от координат x и y . Расчетные формулы здесь не приведены. При этом с целью определения ϵ_{zz} в более широком диапазоне изменений x , радиус ОВ был выбран равным 25 мкм. Результаты расчета приведены на рис. 2. Координата y в расчетах принята равной 1 мкм. Произведенные расчеты ϵ_{zz} при других значениях координаты y показали, что ϵ_{zz} незначительно изменяется по сравнению с расчетами, проводимыми на рис. 2.

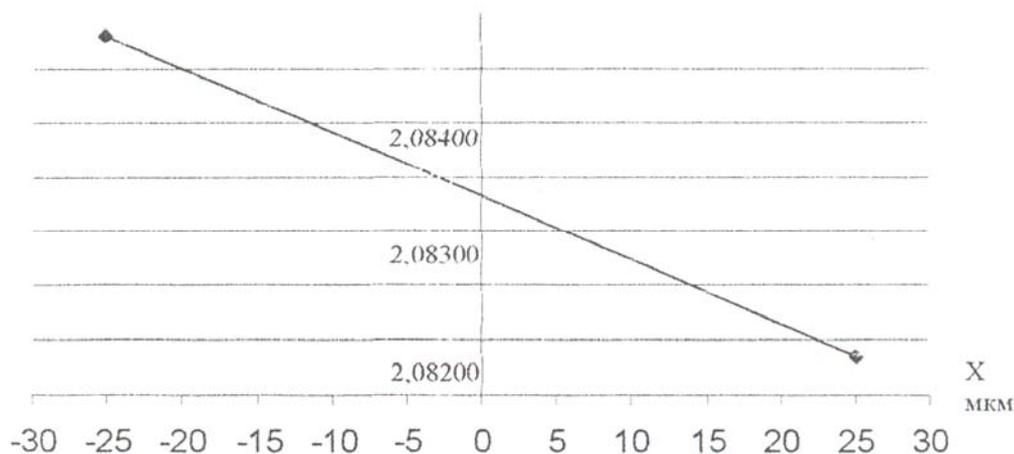


Рисунок 2 – Залежність ϵ_{zz} від координати x

В зв'язі з цим можна зробити висновок про те, що залежність $\Delta\epsilon$ від координати y значно менше, ніж від координати x , і відрізняється менше, ніж на один порядок [2].

Дослідження залежності елементів тензора діелектричної проникності вигнутого по спіралі ОВ, в кінцевому рахунку, дозволяють вибрати оптимальні радіус R і крок спіралі p з точки зору мінімуму втрат і дисперсії.

Матеріал роботи може бути використаний при розробці конструкцій ОК з покращеними параметрами передачі ОВ, а також при виконанні студентами індивідуальних робіт.

Література

1. *Макаров Т.В.* Анізотропія вигнутих волоконних світноводів // Труды УНІІРТ. – 1995. Одеса, – № 1. – С. 103 – 106.
2. *Одинцов Н.Н., Заяц А.П., Заяц С.А.* Аналіз деяких компонентів ВОСП, використовуючих анізотропні середовища // Праці УНДІРТ. – 2002. – № 4. – С. 46 – 48.