

ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ОСНОВЕ ЩЕЛЕВЫХ ВОЛНОВОДНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ РЕЗОНАТОРОВ С ЖК ЗАПОЛНЕНИЕМ

И.А. Гончаренко¹, А.И. Конойко², В.Н. Рябцев¹

¹Университет гражданской защиты МЧС Беларуси, Минск

²Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск

E-mail: v.reabtsev@gmail.com

Прогрессивное развитие технологий промышленности сопровождается как целенаправленной генерацией электростатических полей для технологических процессов, так и побочным их возникновением при работе электротехнического оборудования. В связи с этим приобретают большое значение проблемы, связанные с разработкой новых средств обнаружения и получения информации о параметрах электростатических полей. Перспективными являются электрооптические методы, основанные на преобразовании измеряемых электрических величин в параметры оптического излучения. Преимуществами этих методов являются высокое быстродействие, защищенность от электромагнитных помех, а также надежная естественная электрическая изоляция между высоковольтной и вторичной измерительными цепями вследствие их полной электрической развязки [1].

В работе проведен анализ влияния электрического поля на направляющие свойства и распределение полей мод изогнутых полосковых волноводов с вертикальным и горизонтальным расположением щелей, заполненных ЖК, в зависимости от конструктивных параметров таких волноводов. Рассмотрены структура и принципы функционирования датчика электрических полей на базе микрокольцевых резонаторов на основе щелевых волноводов с ЖК заполнением.

Щелевой волновод состоит из двух полосок материала с высоким показателем преломления, разделенных областью с низким показателем преломления (щелью), размеры которой меньше длины волны. Такие щели могут быть расположены вертикально либо горизонтально в виде слоистой структуры. Поскольку электрические поля неразрывны на границе раздела материалов с разными показателями преломления, в щелевой области можно достичь большой оптической интенсивности. Щель в таком волноводе можно заполнить веществом, чувствительным к определенному параметру. Поскольку поле моды в области щели относительно велико, то изменения показателя преломления материала щели сильно влияют на направляющие свойства волновода. Тем самым чувствительность датчика увеличивается.

Показатель преломления ЖК зависит от угла между электрическим вектором линейно-поляризованного лазерного излучения и директором ЖК θ [2]:

$$n_{LC}(\theta) = \frac{n_o n_e}{\sqrt{n_o^2 \sin^2(\theta) + n_e^2 \cos^2(\theta)}}. \quad (1)$$

Под действием электрического поля происходит переориентация директора. Распределение угла поворота директора по толщине ЖК-ячейки x можно рассчитать, используя приближенную формулу [2]:

$$\theta(x) = 2 \arctan \left(\exp \left(\pi \frac{E_{\text{ext}}}{E_{\text{th}}} \frac{x}{L} \right) \right) - \frac{\pi}{2} \quad (2)$$

где θ – угол поворота ориентации директора относительно начальной планарной ориентации под действием напряженности E_{ext} внешнего поля; E_{th} – порог перехода Фредерикса; L – толщина ЖК-слоя. Таким образом, значение эффективного показателя преломления ЖК n_{LC} изменяется в пределах от показателя преломления обыкновенной волны n_o при $E_{\text{ext}} = 0$, до показателя преломления необыкновенной n_e волны при напряженности E_{ext} внешнего поля значительно превышающей порог Фредерикса E_{th} .

Расчет эффективного показателя преломления и распределение полей мод изогнутых щелевых волноводов с ЖК заполнением проводился с помощью метода линий [3], модифицированного для исследуемой структуры.

Как показали расчеты, горизонтально-щелевые волноводы более чувствительны к напряженности электрического поля, чем волноводы с вертикальной щелью. Однако они позволяют определять электрические поля в большем диапазоне величин. Таким образом, датчик может быть сконструирован одновременно из резонаторов на базе вертикально- и горизонтально-щелевых волноводов. Волноводы с вертикальной щелью можно использовать для грубого определения напряженности электрического поля (десятичные разряды), а резонаторы с горизонтально-щелевыми волноводами – для более точного ее измерения (единичные разряды).

1. Passaro V.M.N., Dell'Olio F., De Leonardis F. //Progress in Quantum Electronics. 2006. Vol. 30. P. 45–73.
2. Melnikova E.A. // Proc. SPIE: 10th Intern. Conf. Nonlinear Optics of Liquid and Photo-refractive Crystals, (Alushta, 3–8 Oct. 2004). Alushta, 2005. Vol. 6023. P. 0D-1–0D-5.
3. Pregla R. // J. Lightwave Technol. 1996. Vol. 14, No. 4. P.634–639.