

Анализируя годограф, можно оптимизировать параметры и конструкции МВП, обеспечивающие максимальную чувствительность к механическим напряжениям.



а

б

Рисунок 4 – Пример изображения (фото) годографов МВП с экрана дефектоскопа:

а – образец без нагружения; б – с грузом 300 г

Таким образом, выполненный эксперимент показал, что плоский одинарный меандровый вихретоковый преобразователь в комплекте с серийно выпускаемым вихретоковым дефектоскопом имеет высокую чувствительность к механическим напряжениям растяжения и сжатия при изгибе. Полученные результаты могут быть использованы при конструировании и изготовлении одинарных и матричных МВП для исследований,

оценки и контроля критического уровня механических напряжений, как в образцах, так и в конструкциях, изготовленных из различных ферромагнитных материалов.

Литература

1. Goldfine N., Zilberstein V., Cardill S., Schlicker D. MVM-Arrau Eddi Current Sensors for Detection of Cracks in Regions with Fretting Damage // ASNT Matherials Evaluation, V.60, №7. – 2002.
2. Неразрушающий контроль: справочник: в 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 2.- М.: Машиностроение, 2003. – 688 с.
3. Венгринович В.Л., Ануфриева Г.Н. Технология получения гибких датчиков для вихретокового контроля // матер. межд. НТК «Приборостроение-2012», 21-23.10.2012. – С. 29–30.
4. Бусько В.Н., Венгринович В.Л. Повышение уровня сигнала матричного меандрового вихретокового преобразователя / Матер. межд. НТК «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии», 27-28.04.2018, Могилев, ГУ ВПО «Белорусско-российский университет», 2018. – С. 346–347.
5. Бусько В.Н., Венгринович В.Л., Кмита К.Ю. Испытания и исследования меандровых вихретоковых преобразователей // Матер. 11-й межд. НТК «Приборостроение-2018», 14-16.11.2018, Минск, БНТУ, 2018. – С. 10–11.

УДК 621.317.328:621.372.8

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ЦЕЛЕВЫХ ВОЛНОВОДОВ С ЗАПОЛНЕНИЕМ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИМ ПОЛИМЕРОМ

Гончаренко И.А., Рябцев В.Н.

Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь
Минск, Республика Беларусь

Измерения электромагнитных полей играют значительную роль в различных областях науки и техники. При этом значительными преимуществами обладают оптические датчики электрического поля благодаря малым размерам, меньшему весу, более высокой чувствительности, широкому спектральному диапазону, защищенностью канала передачи данных от воздействия помех [1]. Ранее нами была рассмотрена схема оптического датчика электрического поля с использованием жидких кристаллов [2]. Такие датчики позволяют измерять переменные электрические поля с частотой лишь до десятков кГц. Однако в ряде случаев, например, при детектировании СВЧ волн высокой мощности, электромагнитных импульсов, анализе внешних электромагнитных помех, проверке электромагнитной совместимости и т.д., возникает необходимость измерения параметров электрических полей с частотой более 1 МГц.

В данной работе рассматривается структура и принцип работы оптического датчика высокочастотных электромагнитных полей на основе микрокольцевых резонаторов на базе оптических

волноводов с горизонтальной и вертикальной щелью, заполненной электрооптическим полимером (ЭОП).

Кольцевой микрорезонатор имеет набор резонансных длин волн. Излучение, распространяющееся по входному волноводу на длинах волн, совпадающих с резонансными, поступает в кольцевой волновод. Оставшаяся часть излучения на других длинах волн распространяется дальше, практически не ответвляясь в микрорезонатор. Ответвленное в кольцевой волновод излучение переходит из него в выходной волновод. Таким образом, в выходной волновод поступает излучение узких спектральных диапазонов, центральные длины волн которых соответствуют резонансным длинам волн микрорезонатора. Ширина этих диапазонов задается коэффициентом связи кольцевого и прямых волноводов, а также параметрами самого микрорезонатора.

Если щелевой волновод с ЭОП заполнением внести во внешнее электрическое поле, показатель преломления ЭОП изменится пропорционально величине электрического поля. Это в свою

очередь приведет к изменению эффективного показателя преломления щелевого волновода. В результате изменится оптическая длина кольцевого резонатора и сместится его резонансная длина волны. Это приведет к изменению интенсивности выходного сигнала на несущей длине волны, совпадающей с резонансной длиной волны невозмущенного резонатора. Таким образом, измеряя интенсивность выходного оптического сигнала на выходе резонатора, можно определять напряженность электрического поля, воздействующего на резонатор.

Электрооптические материалы позволяют измерять переменные электрические поля с частотой 1–10 ГГц. В частности, в работе [3] экспериментально продемонстрирована возможность определения напряженности переменного электрического поля с частотой до 8,4 ГГц с использованием активного органического полимера SEO125. Такой полимер обладает малыми оптическими потерями для излучения с длиной волны 1550 нм, большим электрооптическим коэффициентом и хорошей временной стабильностью.

Быстродействие устройства определяется временем установления стационарного режима в кольцевом микрорезонаторе и временем отклика электрооптического полимера. Время установления стационарного режима составляет 25.73 пс для волноводов с вертикальной щелью и 24.66 пс для волноводов с горизонтальной щелью. Это соответствует частоте порядка 40 МГц. Таким образом, быстродействие датчика на базе кольцевых микрорезонаторов на основе щелевых волноводов с заполнением электрооптическим полимером ограничено в основном временем отклика полимера.

Расчет эффективного показателя преломления и распределение полей мод изогнутых щелевых волноводов с заполнением ЭОП проводился с помощью метода линий [4], модифицированного для исследуемой структуры. В качестве начальных параметров оптического излучения использовались параметры полупроводникового лазера FU-68PDF-V510M с выходной оптической мощностью 15 мВт на длине волны 1,5 мкм. Оптическое излучение на выходе из кольцевого резонатора преобразовывалось в электрический сигнал р-і-n фотодиодом ФД161 на основе соединения InGaAs. Токовая чувствительность такого фотодиода на рабочей длине волны 1,5 мкм не менее 0,8 А/Вт, темновой ток – не более 20 нА.

На рис. 1 представлена зависимость сигнала на выходе резонатора на базе изогнутого волновода с вертикальной щелью с заполнением ЭОП от напряженности внешнего электрического поля.

Наклон кривых, описывающих зависимость выходного сигнала от интенсивности воздействия электрического поля, характеризует чувстви-

тельность датчика. Чувствительность и измерительный диапазон датчика на основе волновода с вертикальной щелью с заполнением ЭОП представлены в табл. 1.

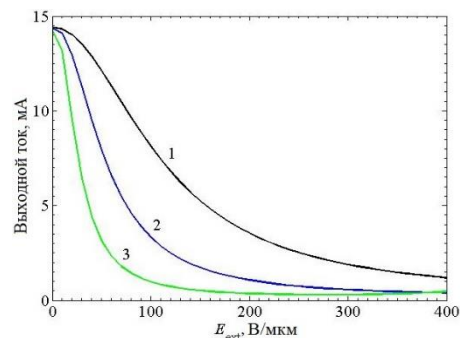


Рисунок 1 – Зависимость сигнала на выходе кольцевого резонатора на основе волновода с вертикальной щелью с заполнением ЭОП от напряженности электрического поля. Ширина щели 400 нм, радиус изгиба волновода 16 (1), 32 (2), 64 (3) мкм

Таблица 1 – Параметры датчика на основе волновода с вертикальной щелью с заполнением ЭОП с шириной щели 400 нм

Радиус резонатора, мкм	16	32	64
Диапазон измерений, В/мкм	10...300	10...130	10...50
Чувствительность, нА/(В/м)	0,043	0,102	0,283

Как видно из рисунка и таблицы, датчики на основе вертикальных щелевых волноводов с заполнением ЭОП могут быть использованы для измерения внешних электрических полей в пределах от 10 до 3×10^8 В/м. Изменение напряженности электрического поля на 1 В/м вызывает изменения тока фотодиода в таком датчике примерно на 0,2 нА (чувствительность датчика равна 0,2 нА/(В/м)). Поскольку темновой ток фотоприемника порядка 20 нА, очевидно, что такой датчик не позволяет отслеживать изменения напряженности внешнего электрического поля менее чем на 100 В/м.

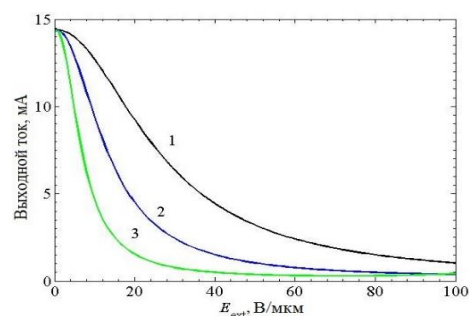


Рисунок 2 – Зависимость сигнала на выходе кольцевого резонатора на основе волновода с горизонтальной щелью с заполнением ЭОП от напряженности электрического поля. Высота щели 400 нм, радиус резонатора 16 (1), 32 (2), 64 (3) мкм

На рис. 2 показана зависимость сигнала на выходе кольцевого микрорезонатора на базе волновода с горизонтальной щелью, заполненной ЭОП, от напряженности внешнего электрического поля. Чувствительность и измерительный диапазон датчика на основе волновода с горизонтальной щелью с заполнением ЭОП представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Параметры датчика на основе волновода с горизонтальной щелью с заполнением ЭОП с высотой щели 400 нм

Радиус резонатора, мкм	16	32	64
Диапазон измерений, В/мкм	1 ... 47	1 ... 24	1 ... 12
Чувствительность, нА/(В/м)	0,237	0,474	0,982

Как видно из рисунка и таблицы, датчики на основе горизонтальных щелевых волноводов более чувствительны к электрическому полю, чем вертикальные щелевые волноводы. При изменении напряженности электрического поля на 1 В/м ток фотодиода в таком датчике изменяется примерно на 1 нА (чувствительность датчика равна 1 нА/(В/м)). Таким образом, датчик позволяет отслеживать изменение интенсивности электрического поля порядка 30–50 В/м. Однако ширина диапазона измерений значительно уже в сравнении с датчиком с вертикальной щелью (порядка 2×10^7 В/м). Таким образом, волноводы с вертикальной щелью можно использовать для грубого определения напряженности электрического поля, а резонаторы с горизонтально-щелевыми волноводами – для более точного ее измерения.

Датчик позволяет измерять переменные электрические поля с частотой до 10 МГц. Чувстви-

тельность датчика ограничена параметрами фотоприемника, в частности, величиной темного тока. При использовании фотоприемника, рассмотренного в работе, датчик позволяет измерять изменения напряженности электрического поля порядка 30 В/м. Чувствительность датчика с ЭОП на порядок хуже, чем у аналогичного устройства с использованием ЖК [3]. Это объясняется тем, что изменения показателя ЭОП под воздействием электрического поля на несколько порядков меньше, чем у ЖК. Однако устройство с ЭОП позволяет измерять поля с частотой до 10 МГц, тогда как датчик с ЖК – лишь до десятка кГц. Тем не менее, разрешение предложенного устройства значительно выше, чем разрешение датчиков на основе нерезонансных структур и сравнимо с разрешением датчиков, использующих резонансные структуры (антенны, кольцевые резонаторы).

Литература

1. Passaro, V.M.N. Electromagnetic field photonic sensors / V.M.N. Passaro, F. Dell'Olio, F. De Leonardis // Progress in Quantum Electronics. – 2006. – Vol. 30. – P. 45–73.
2. Goncharenko, I. Electric field sensing with liquid-crystal-filled slot waveguide microring resonators / I. Goncharenko, M. Marciniak, V. Reabtsev // Applied Optics. – 2017. – V. 56, no. 27. – P.7629–7635.
3. Zhang, X. Integrated photonic electromagnetic field sensor based on broadband bowtie antenna coupled silicon organic hybrid modulator / Xingyu Zhang [et al.] // J. Lightwave Technology. – 2014. – V. 32, no. 20. – P. 3774–3784.
4. Pregla, R. The method of lines for the analysis of dielectric waveguide bends / R. Pregla // Journal of Lightwave Technology. – 1996. – Vol. 14, no.4. – P. 634–639.

УДК 003.26.004.7.004.9

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ УПРАВЛЕНИИ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Завадская Т.Е.

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
Москва, Российская Федерация

Эффективность любой автоматизированной системы в значительной степени определяется состоянием защищенности (безопасностью) перерабатываемой в ней информации. Этот постулат справедлив, прежде всего, для автоматизированных систем, функционирующих в составе энергетических объектов.

Безопасность информации – состояние защищенности информации, носителей и средств, обеспечивающих ее получение, обработку, хранение, передачу и использование, от различного вида угроз.

Угроза – потенциально возможное событие, действие или процесс, которое посредством воздействия на компоненты информационно-управляющей сети может привести к гибели людей,

нанесению материального, морального или иного ущерба ресурсам объекта.

Источниками угроз информации являются факторы внешней среды, человеческий фактор, аппаратные и программные средства, используемые при разработке и эксплуатации информационно-управляющих систем (ИУС) объекта. Порождаемое данными источниками множество угроз безопасности информации можно разделить на два класса: непреднамеренные (случайные) и преднамеренные.

Случайные угрозы связаны, главным образом, со стихийными бедствиями, сбоями и отказами технических средств, а также с ошибками в работе персонала и аппаратно-программных средств. Реализация этого класса угроз приводит,