

Датчик напряженности высокочастотных электрических полей на основе оптических волноводных структур

И.А. Гончаренко, А.В. Ильюшонок, В.Н. Рябцев

Университет гражданской защиты МЧС Беларуси, Минск

E-mail: v.reabtsev@gmail.com

Измерения электромагнитных полей играют значительную роль в различных областях науки и техники. Датчики электромагнитных полей весьма перспективны для использования при детектировании СВЧ волн высокой мощности, электромагнитных импульсов, анализе внешних электромагнитных помех, проверке электромагнитной совместимости, исследованиях влияния электромагнитного излучения на здоровье человека и т.д. Оптические датчики электрического поля имеют значительные преимущества перед их электронными аналогами благодаря малым размерам, меньшему весу, более высокой чувствительности, широкому спектральному диапазону, защищённость канала передачи данных от воздействия помех [1].

В работе рассмотрена 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 SEO125.

Быстродействие устройства определяется временем установления стационарного режима в кольцевом микрорезонаторе и временем отклика электрооптического полимера. Изменение интенсивности оптического сигнала в кольцевом резонаторе представлено на рисунке 1. Как следует из рисунка, через определенный временной интервал интенсивность оптического сигнала в резонаторе достигает насыщения, и в резонаторе устанавливается стационарный режим. 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 40 МГц. Электрооптические полимеры (ЭОП) позволяют измерять переменные электрические поля с частотой 1–10 ГГц [2, 3]. В частности, в работе [2] 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. Таким образом, быстродействие датчика на базе кольцевых микрорезонаторов на основе щелевых волноводов с заполнением ЭОП ограничено в основном временем отклика полимера.

Показатель преломления такого полимера изменяется под воздействием приложенного электрического поля в соответствии с выражением:

$$\Delta n = n_0 - \frac{1}{2} n_0^3 r_{33} E_{\text{ext}},$$

где n_0 – показатель преломления полимера в отсутствии электрического поля; r_{33} – электрооптический коэффициент полимера, м/В; E_{ext} – напряженность приложенного электрического поля, В/м.

Для полимера SEO125 для длины волны 1550 нм показатель преломления равен $n_0 = 1,63$, а оценочная величина электрооптического коэффициента составляет $r_{33} = 100$ пм/В [2].

Если щелевой волновод с заполнением ЭОП 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.

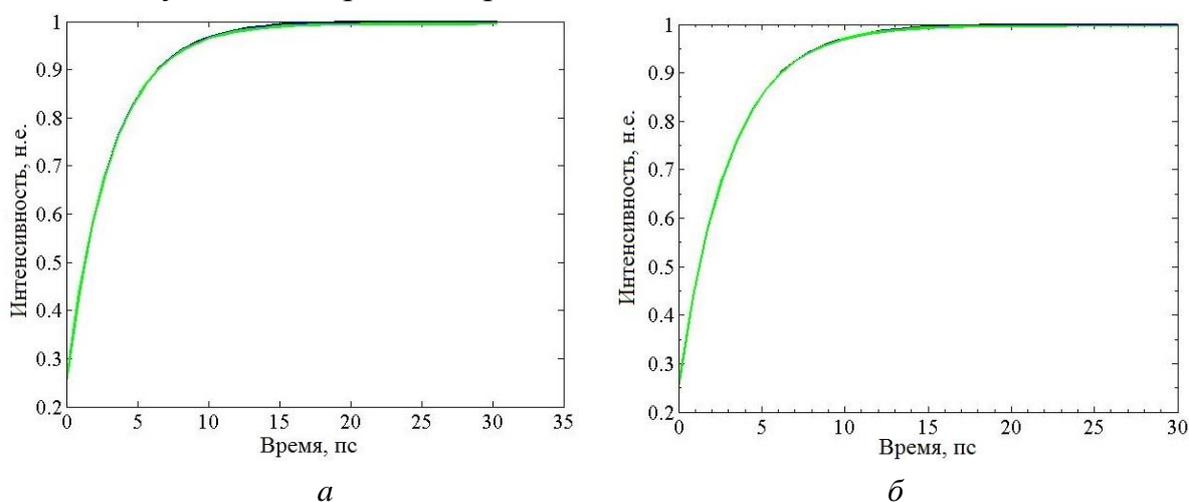


Рис. 1. Зависимость интенсивности оптического сигнала в кольцевых резонаторах на базе волноводов с вертикальной (а) и горизонтальной (б) щелями с радиусами 32 мкм и коэффициентом связи 0,5 от времени

1. Passaro V.M.N., Dell'Olio F., De Leonardis F. // Progress in Quantum Electronics. 2006. V. 30. P. 45–73.
2. Zhang X., Hosseini A., Subbaraman H. et al. // J. Lightwave Technology. 2014. V. 32, No. 20. P.3774–3784.
3. Lin C.-Y., Wang A.X., Lee B.S. et al. // Optics Express. 2011. V. 19, No. 18. P. 17372–17377.