

УДК 539.1.074

ДЕТЕКТОРЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЩЕЛЕВЫХ ВОЛНОВОДОВ

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

*Университет гражданской защиты
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В работе показана возможность использования микрокольцевых резонаторов на основе волноводов с двумя вертикальными щелями, заполненными гиперсвязанным фторполимером, в качестве чувствительных элементов детекторов поглощенной дозы ионизирующего излучения. Проведен анализ изменения направляющих свойств таких волноводов под воздействием ионизирующего излучения, а также оптимизация параметров кольцевых резонаторов на их базе с точки зрения достижения максимальной чувствительности.

Ключевые слова: микрокольцевой резонатор, щелевой волновод, гиперсвязанный фторполимер, ионизирующее излучение, поглощенная доза.

DETECTORS OF IONIZING RADIATION ON THE BASE OF SLOT WAVEGUIDES

Goncharenko I.A., Il'yushonok A.V., Reabtsev V.N.

*University of Civil Protection
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. We demonstrated the possibility to use the microring resonators based on of the waveguide with two vertical slots filled with hyperlinked fluoropolymer as sensitive element of the detectors of absorbed dose of ionizing radiation. The analysis of influence of ionizing radiation on guiding properties of such waveguides and optimization of the parameters of ring resonators on that base in order to achieve the maximal sensitivity has been carried out.

Key words: microring resonator, slot waveguide, hyperlinked fluoropolymer, ionizing radiation, absorbed dose.

*Адрес для переписки: Рябцев В.Н., ул. Машиностроителей, 25, г. Минск, 220118, Республика Беларусь
e-mail: v.reabtsev@ucp.by*

Измерения доз ионизирующего излучения находят широкое применение в атомной энергетике (контроль обстановки в реакторном зале атомных электростанций, в технологических каналах ядерных реакторов), радиационной безопасности (контроль радиационной обстановки), медицине (при радиотерапии онкологических больных, рентгеноскопическом обследовании), радиологических исследованиях. Блокам детектирования большинства традиционных дозиметров необходимо электрическое питание. Для обеспечения электрической энергией отдельных сенсорных элементов и передачи информации от них используются электрические или беспроводные соединения, которые могут нарушаться в результате аварии [1]. Детекторы на основе оптических волноводных структур имеют ряд существенных преимуществ перед традиционными устройствами. Они обладают высокой надежностью, поскольку устойчивы к электромагнитным, химическим и механическим воздействиям, а также малым весом и поперечными размерами. Для работы оптических волноводных дозиметров не требуется электрического питания чувствительного элемента, поэтому они могут продолжать работу даже при полном отключении электроснабжения. Такие дозиметры позволяют проводить измерения в режиме реального времени, а оператор может находиться на значительном удалении от контролируемого объекта [2].

Одним из широко используемых типов датчиков, обеспечивающих высокую точность измерений, являются датчики на основе волноводных микрокольцевых резонаторов [3].

Воздействие ионизирующего излучения вызывает деградацию материала волновода из-за образования дефектов и эффекта ионизации [4; 5]. Дефекты приводят к изменению оптических свойств материала в результате возникновения полос поглощения и центров окраски [6–8]. С другой стороны, под воздействием ионизирующего излучения изменяется показатель преломления и геометрическая длина резонатора, что приводит к смещению резонансной длины волны или полос интерференционной картины. Таким образом, такие структуры можно использовать для детектирования поглощенной дозы ионизирующего излучения [9].

В работе [10] экспериментально исследовано влияние больших доз гамма-излучения на кольцевой резонатор на основе волновода из аморфного кремния, расположенного на кремниевой подложке с поверхностным покрытием из гиперсвязанного фторполимера (ЭП полимера).

Под воздействием ионизирующего излучения происходит изменение показателя преломления покрывающего волновод полимера, что приводит к сдвигу резонансной длины волны кольцевого резонатора в область меньших длин волн. При дозе ионизирующего излучения 150 кГр сдвиг составляет 21 пм (рисунок 1).

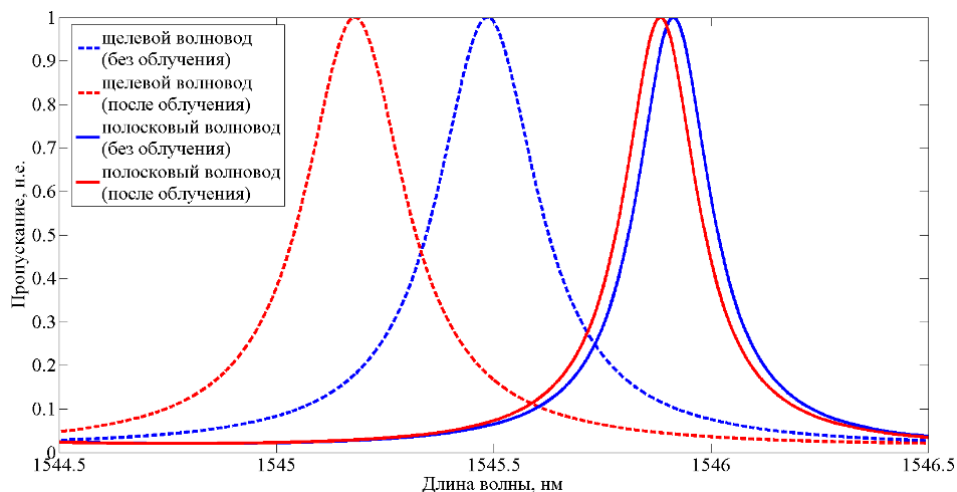


Рисунок 1 – Нормализованные функции пропускания кольцевых микрорезонаторов на базе щелевых и полосковых волноводов до и после облучения гамма-излучением дозой 150 кГр

Для повышения чувствительности детектора ионизирующего излучения возможно использование микрокольцевых резонаторов на базе щелевых волноводов. В этом случае ЭП полимер располагается в области щели, где величина оптических полей волноводной моды значительна и изменения показателя преломления ЭП полимера приводят к существенно большему смещению резонансной длины волны. При этом наибольшей чувствительностью обладают резонаторы на основе волноводов с двумя щелями. При дозе ионизирующего излучения 150 кГр сдвиг резонансной длины волны микрорезонатора на базе волновода с двумя щелями составляет 305 нм. Таким образом, чувствительность детектора ионизирующего излучения на основе таких волноводов можно повысить более чем в 10 раз.

В данной работе проведен анализ изменения направляющих свойств волноводов с двумя вертикальными или горизонтальными щелями, заполненными ЭП полимером, под воздействием ионизирующего излучения, а также проведена оптимизация параметров кольцевых резонаторов на базе таких волноводов с точки зрения достижения их максимальной чувствительности.

Для оценки чувствительности детектора ионизирующего излучения проанализирована зависимость интенсивности сигнала на выходе резонатора от поглощенной дозы гамма-излучения при различных параметрах резонатора. Чувствительность и измерительный диапазон детектора ионизирующего излучения зависит от ширины щелей, заполненных ЭП полимером, их разнесения (расстояния между щелями) и ширины волновода. Для каждой ширины щелей мы определили оптимальную с точки зрения максимальной чувствительности ширину волновода. Оптимальное

расстояние между щелями в каждом случае составляло около трети от ширины волновода.

Литература

1. Friebele, E.J. Radiation damage of optical fiber waveguides at long wavelengths / E.J. Friebele, M.E. Gingerich, K.J. Long // *Applied Optics*. – 1982. – Vol. 21, № 3. – P. 547–553.
2. *Fundamentals of Ionizing Radiation Dosimetry* / P. Andreo [et al.]. – Wiley, 2017. – 957 p.
3. Гончаренко, И.А. Оптические датчики на основе волноводных микрокольцевых резонаторов : монография / И.А. Гончаренко, В.Н. Рябцев. – Минск : УГЗ, 2022. – 185 с.
4. Damage correlations in semiconductors exposed to gamma, electron and proton radiations / G.P. Summers [et al.] // *IEEE Transactions on Nuclear Science*. – 1993. – Vol. 40, № 6. – P. 1372–1379.
5. Johnston, A.H. Radiation effects in optoelectronic device / A.H. Johnston // *IEEE Transactions on Nuclear Science*. – 2013. – Vol. 60, № 3. – P. 2054–2073.
6. West, R.H. Effects related to dose deposition profiles in integrated optics structures / R.H. West, S. Dowling // *IEEE Transactions on Nuclear Science*. – 1996. – Vol. 43, № 3. – P. 1044–1049.
7. Girard, S. 14-MeV neutron, gamma-ray, and pulsed X-ray radiation-induced effects on multimode silica-based optical fibers / S. Girard, J. Baggio, J. Bisutti // *IEEE Transactions on Nuclear Science*. – 2006. – Vol. 53, № 6. – P. 3750–3757.
8. An introduction to radiation effects on optical components and fiber optic sensors / F. Berghmans [et al.] // *Optical Waveguide Sensing and Imaging*. 1 ed. – Netherlands: Springer, 2008. – P. 127–165.
9. Гончаренко, И.А. Измерение поглощенной дозы ионизирующего излучения с помощью оптических волноводных кольцевых резонаторов / И.А. Гончаренко, А.В. Ильюшонок, В.Н. Рябцев // *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. – 2023. – Т. 7, № 1. – С. 5–12.
10. Gamma radiation effects on silicon photonic waveguides / S. Grillanda [et al.] // *Optics Letters*. – 2016. – Vol. 41, № 13. – P. 3053–3056.