

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ ОПТОВОЛОКОННЫЙ СЕНСОР ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

С. В. Волков

В связи с тем, что в промышленности, медицине, энергетике и прочих сферах деятельности необходимы регистрация и контроль радиоактивного излучения за последние годы большое развитие получил новый класс сенсоров на базе оптоволокна. В настоящее время оптоволоконные сенсоры регистрируют множество параметров, а результирующий сигнал может быть передан на большие расстояния. Система работает без преобразования оптического сигнала, что может существенно снизить погрешность измерений.

Целью данной работы является исследование поглощения в кварцевом стекле, изготовленном по золь-гель технологии, при его облучении гамма-квантами. На основе данных исследования стекла предлагается использовать его для изготовления оптоволокна и использования его в качестве чувствительного элемента в сенсорах гамма-излучения.

Похожий сенсор был разработан Исследовательской Лабораторией Навал в Вашингтоне (Naval Research Laboratory, Washington, DC), но остается актуальным вопрос о поиске новых материалов для изготовления чувствительного элемента.

Для исследований были выбраны образцы стекол, изготовленных по золь-гельной технологии. Она позволяет создавать особо чистые стекла с наиболее однородным распределением примесей, число которых можно контролировать. Для оптических измерений изготавливались образцы кварцевого стекла в виде прямоугольных параллелепипедов размером 10x10x40 мм с полированными гранями.

Образцы кварцевого стекла готовились по следующей золь-гель схеме [1]: гидролиз в кислой среде, добавление аэросила, тщательное его диспергирование в гидролизате с помощью ультразвука, затем очистка золя методом центрифугирования, литье, гелеобразование с помощью раствора аммиака, удаление пузырьков воздуха в вакууме, созревание в воде, промывка геля в воде, сушка при 30–60°C в наклонном положении. В результате получался ксерогель с плотностью 0,7–0,8 г/см³. Далее ксерогель помещался в горизонтальную печь из чистого кварцевого стекла, где он подвергался заключительной термообработке. Оптимальный вариант процесса формирования золь-гельных кварцевых стекол включает следующие стадии. Образцы ксерогелей выдерживались в атмосфере фреона/кислорода в течение 1,5 часов при 1000°C, а далее спекались в атмосфере гелия при 1280°C, после чего подвергались отжигу на воздухе при

1350°C в течение 1,5 часов. Далее следовало естественное остывание образцов в реакторе.

Исследуемые образцы облучали при комнатной температуре гамма-излучением ^{60}Co (период полураспада 5,3 года, средняя энергия квантов 1,25 МэВ). Суммарная доза облучения 10^6 Гр.

Спектры поглощения в видимой и УФ области характеризовались максимумами поглощения примерно при 4,85 эВ и 2,05 эВ.

При рассмотрении спектров облученного образца отмечено смещение максимума полосы поглощения при 2,05 эВ в длинноволновую область при увеличении дозы облучения. Поэтому при моделировании учитывались три полосы поглощения с максимумами при 4,85, 2,05, 1,75 эВ (215, 620, 720 нм). Поглощение при 4,85 эВ возрастает с увеличением дозы облучения. При этом положение максимума полосы поглощения сохраняется. Исследованиями авторов [2] подтверждается, что поглощение пропорционально дозе облучения. При изготовлении оптоволокна его поглощение становится большим.

Так как в конечном итоге рассматривается не только модель, но и возможность создания реального сенсора, стоит учитывать воздействие сигнала обратного рассеяния и затухания на потери при измерениях. Распространяясь по волокну, излучение будет взаимодействовать с различными неоднородностями, на которых будет происходить рэлеевское рассеяние, часть рассеянного излучения возвратится обратно к входному торцу оптического волокна.

Мощность сигнала обратного рассеяния пропорциональна коэффициенту обратного рассеяния, который главным образом зависит от диаметра модового поля, а также от материала оптического волокна и технологии его изготовления. Коэффициент обратного рассеяния может несколько различаться не только для волокон разных производителей, но и для однотипных волокон из разных партий.

Поскольку даже самый идеальный монохроматичный лазер, все равно излучает некоторый спектр длин волн, происходит уширение импульсов при распространении по волокну, что порождает искажения сигналов.

На данный момент эксперименты по определению коэффициента потерь электромагнитной волны, полосы пропускания и коэффициента затухания не проводились, можно привести только оценочные значения данных величин:

коэффициент потерь электромагнитной волны: $\alpha_{\text{п}} \sim 4 \times 10^{-5} - 7 \times 10^{-5} \text{ м}^{-1}$;

полосы пропускания: $f \sim 100 - 150 \text{ МГц/км}$

коэффициента затухания: $\alpha_{\text{з}} \sim 30 \text{ дБ/км}$

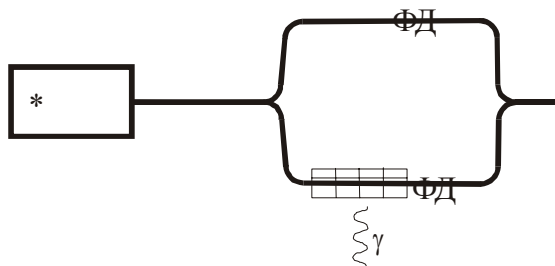


Рис. 1. Принципиальная схема оптоволоконного сенсора дозы облучения

Кварцевое стекло, изготовленное по золь-гель технологии, предлагается использовать в качестве чувствительного элемента радиационных сенсоров. Далее представлены принципиальные схемы таких сенсоров. [3,4–7]

Импульсы регистрируются с двух сторон волокна. Длительность и скважность импульсов в измерительной установке варьируется в зависимости от времени генерации в оптическом волокне. Импульсы не должны перекрываться. По показаниям фотодиодов можно вычислить местоположение облученных участков, а так же поглощенную дозу.

Предложенные сенсоры предназначены для регистрации дозы гамма-излучения и определения местоположения источника излучения в труднодоступных местах, а так же в местах, где необходим постоянный контроль дозы облучения: предприятия промышленности, медицинские учреждения, ядерная энергетика, места захоронения ядерных отходов.

В предложенных схемах длина волны лазера приходится на максимум поглощения материала. Полоса поглощения очень широкая и в любой ее точке поглощение прямо пропорционально дозе облучения, поэтому можно использовать лазеры с длиной волны в пределах от 200 до 250 нм.

После однократного облучения тестовое волокно в каждом типе сенсора необходимо привести в первоначальное состояние. Для этого волокно в лабораторных условиях отжигают в муфельной печи. Однако, это неудобно для работающей установки. Проблема отжига решается по-разному в различных условиях.

Один из путей решения этой проблемы – заключение волокна в оболочку из металлической сетки. При пропускании электрического тока по сетке она будет нагревать волокно. Под воздействием температур выше 200°C после второго отжига полосы поглощения в волокне исчезают, характеристики становятся стабильными и сенсор можно использовать вновь.

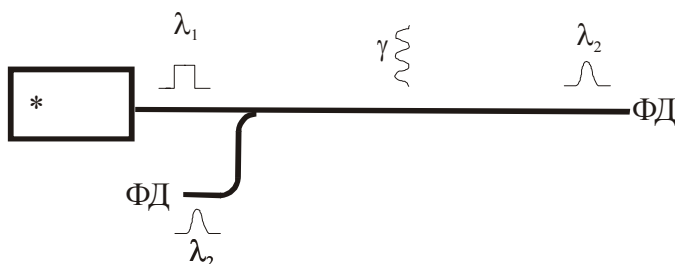


Рис. 2 Принципиальная схема люминесцентного оптоволоконного сенсора

Вторым путем решения этой проблемы является нагрев оптического волокна с помощью мощного импульса лазерного излучения. Однако, в таком случае сложно обеспечить

равномерный прогрев волокна по всей длине.

Количество отжигов практически не ограничено т. к. согласно данным исследований сенсор может служить бесконечно долго, вплоть до физического разрушения волокна. [3,4–7]

Литература

1. *Подденежный Е. Н., Плющ Б. В., Бойко А. А.* Созревание объемно-формируемых гелей при синтезе кварцевого стекла золь-гельным методом // Труды Национальной Академии Наук Беларуси. Серия химических наук №4, Минск: Беларуская навука, 2005, с.10–14.
2. *Силинь А. Р., Трухин А. Н.* Точечные дефекты и элементарные возбуждения в кристаллическом и стеклообразном SiO₂. Рига: Зинатне, 1985. 244 с.
3. *Chubarov S.I., Volkov S. V., Yanukovich T. P.* Sensors of gamma-irradiation on the basis of luminescent quartz glass with localization of source // Proc. of 1 international conference “Electronics and applied physics”. Kyiv. Ukraine. November, 24–27, 2005, p. 18–19
4. *Волков С. В., Чубаров С. И.* Оптоволоконный сенсор гамма-излучения // Известия Национальной Академии Наук Беларуси, Серия Физико-математических Наук №5, Минск: Беларуская навука, 2005, с.112–114.
5. *Волков С. В., Янукович Т. П.* Распределенные люминесцентные сенсоры гамма-излучения на основе кварцевых стекол // Труды IV международной конференции молодых ученых и специалистов «Оптика-2005». Санкт-Петербург, 17–21 октября 2005. / СПб: СПбГУ ИТМО, 2005, с.103
6. *Волков С. В., Янукович Т. П.*, Сенсоры гамма-излучения на основе золь-гель оптического волокна // Современные проблемы физики: сборник научных трудов конференции – Минск: Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, 2006, с. 203–208
7. *Волков С. В., Янукович Т. П.*, Распределенные люминесцентные сенсоры гамма-излучения на основе кварцевых стекол // Оптический журнал. 2007. Т.74. №02 с.89–93