

## ПЕРВЫЙ ШАГ В НАУКУ

УДК 535.37

### ОПТОВОЛОКОННЫЙ СЕНСОР ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

С. В. Волков, С. И. Чубаров

Белорусский государственный университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

*Parameters of pure quartz sol-gel glass and forming absorption band near the 4,85, 2,05 and 1,75 eV in were researched. The principal scheme of the optical fiber sensor made from this pure quartz glass was offered.*

#### Введение

За последние годы большое развитие получил новый класс сенсоров на базе оптического волокна. В настоящее время оптоволоконные сенсоры регистрируют множество параметров, а результирующий сигнал может быть передан на большие расстояния. Система работает без преобразования оптического сигнала.

Существенные отличия оптоволоконных сенсоров от обычных твердотельных можно сформулировать следующим образом:

оптические волокна выдерживают воздействие высоких температур, влажности, электромагнитного поля и химических реакций;

сенсор может быть изготовлен длиной до сотен километров без изменения качества;

диаметр сенсора очень мал ( $\sim 10^{-4}$  м);

оптоволоконный сенсор позволяет вести наблюдения на расстояниях в сотни километров;

высокая эластичность (минимальный радиус изгиба составляет 2 мм).

Известный факт, что под воздействием радиоактивного излучения увеличиваются потери оптического волокна. Если оптическое волокно используется для связи, то данные потери необходимо снизить до минимума. Если же оптическое волокно является чувствительным элементом, то это свойство можно использовать [1, 3].

В оптическом волокне, где в качестве примеси используются железо, медь, кобальт, бор или фтор (для снижения коэффициента преломления), под воздействием гамма-лучей потери значительно возрастают по сравнению с волокном, не содержащим этих примесей. Одновременно с этим возникает явление флюоресценции, которое можно использовать для регистрации радиоактивного излучения, и проявляется так называемый эффект фотоотбеливания. В результате нарушается линейность зависимости потерь в оптическом волокне от дозы излучения, а при добавлении таллия и сурьмы линейность восстанавливается. Однако стоит заметить, что данный способ изготовления оптоволокон является дорогостоящим и непригодным для массового производства [1].

#### Исследование спектров поглощения образцов кварцевого золь-гель стекла

Большое значение для разработки новых сенсоров имеет исследование новых материалов для изготовления оптического волокна. Одним из возможных путей создания широкой гаммы оптических волокон с варьируемыми характеристиками представляется использование в качестве

исходного материала кварцевых стекол, синтезированных по золь-гель технологии. Основным преимуществом данной технологии является возможность легко варьировать оптические характеристики стекла, получая образцы с заданными свойствами. Эта технология также позволяет создавать особо чистые стекла с наиболее однородным распределением примесей, число которых можно контролировать.

Для оптических измерений изготавливались образцы в виде прямоугольных параллелепипедов размером  $10 \times 10 \times 40$  мм с полированными гранями. Спектры поглощения исследуемых образцов записывались на абсорбционных спектрометрах SPECORD M-40. Исследуемые образцы облучали при комнатной температуре гамма-излучением  $Co^{60}$  (период полураспада 5,3 года, средняя энергия квантов 1,25 МэВ) на установке МРХ-гамма-25М. В рабочей зоне установки кобальтовые источники собирались в цилиндр так, что образцы облучались равномерно со всех сторон. Контроль доз облучения в диапазоне  $10^2 - 10^7$  Гр осуществлялся дозиметром Харта. Суммарная доза облучения достигала  $10^6$  Гр. Отжиг стекол проводили при  $1000^\circ C$  в течение 40 мин. Спектры поглощения в видимой и УФ области характеризовались максимумами поглощения примерно при 4,85 и 2,05 эВ (рис. 1).

Оптическая плотность необлученных образцов стекла  $< 0,1$  для всех образцов. 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. Поглощение пропорционально дозе облучения (рис. 2), что подтверждается исследованиями авторов [4] для отжиговых характеристик оптического волокна. При изготовлении оптического волокна его поглощение становится большим [5].

### Принципиальная схема оптоволоконного сенсора ионизирующего излучения

Кварцевое стекло, изготовленное по золь-гель технологии, предлагается использовать в качестве материала для изготовления чувствительного элемента радиационного датчика. Принципиальная схема предлагаемого датчика приведена на рис. 3.

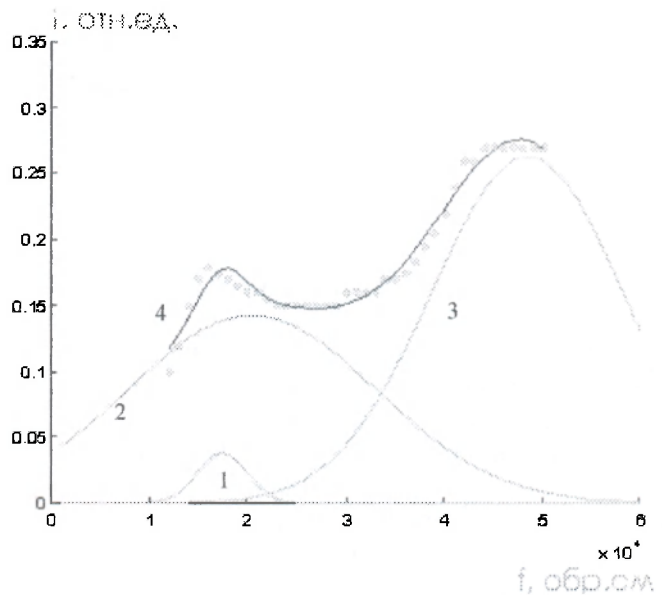


Рис. 1. Спектр поглощения образца кварцевого стекла (1 – полоса поглощения 17500 обр. см, т. е. 1,75 эВ; 2 – полоса поглощения 20500 обр. см, т. е. 2,05 эВ; 3 – полоса поглощения 48500 обр. см, т. е. 4,85 эВ; 4 – суммарный спектр поглощения; • – экспериментальные данные)

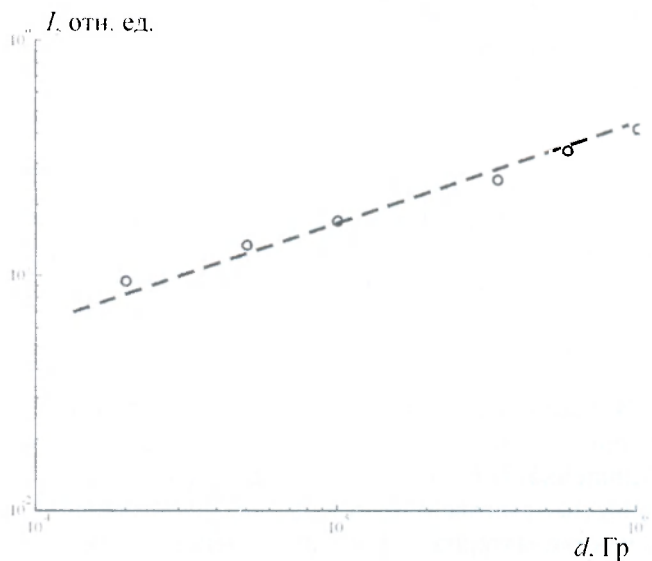


Рис. 2. Зависимость поглощения образца от дозы облучения в полосе 4,85 эВ

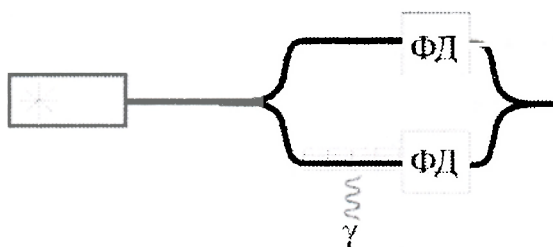


Рис. 3. Принципиальная схема датчика гамма-излучения

Для повышения надежности измерений предлагается использовать дифференциальную схему сенсора. Излучение лазера с длиной волны 215 нм вводится в оптическое волокно, после чего волокно разделяется сплиттером на два волокна одинаковой длины, изготовленные из одного материала. Одно из волокон помещается в среду, где необходимо измерить дозу облучения, второе находится при нормальных условиях. На выходе обоих волокон стоят фотодиоды, которые регистрируют интенсивность прошедшего излучения. Интенсивность излучения в волокне, находившемся под воздействием гамма-облучения, будет меньше за счет поглощения. Величина интенсивности в волокне, находящемся при нормальных условиях, будет служить опорной. Введение такого волокна необходимо для исключения ошибки измерения. В предложенной схеме длина волны лазера приходится на максимум поглощения материала. В этом случае 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 облучения волокно необходимо привести в первоначальное состояние. Для этого волокно в лабораторных условиях отжигают в муфельной печи. Однако это неудобно для работающего сенсора. Поэтому предлагается волокно заключить в оболочку из металлической сетки. При пропускании электрического тока по сетке она будет нагревать волокно. Под воздействием температур выше 200 °С полосы поглощения в волокне исчезают и сенсор можно использовать вновь.

Если облучается короткий участок волокна, то прогрев волокна можно осуществить следующим образом. По волокну после сигнала передается также излучение достаточно мощного ИК лазера. Под действием ИК волн волокно будет прогреваться изнутри. Аналогично первому способу после прогрева и исчезновения полос поглощения сенсор можно использовать вновь.

### Заключение

В данной работе мы исследовали образец особо чистого кварцевого стекла, изготовленного по золь-гель технологии. Под воздействием гамма-облучения в стекле появляются три полосы поглощения. В полосе с 4,85 эВ (что соответствует 215 нм – глубокий УФ) зависимость интенсивности от дозы поглощения является линейной. Данное стекло предлагается использовать в качестве материала для изготовления оптического волокна. В работе предложена принципиальная схема оптоволоконного сенсора для регистрации гамма-излучения.

### Литература

1. Окоси Т., Окамото К., Оцу М., Нисихара Х., Кюма К., Хатагэ К. Волоконно-оптические датчики // Пер. с японского. Л.: Энергоатомиздат, 1990. 254 с.
2. Саечников В. А., Чернявская Э. А., Янукович Т. П. и др. Влияние примеси фтора на спектроскопические характеристики кварцевых стекол при гамма-облучении // Журнал прикладной спектроскопии. 2000. Т. 67, № 6. С. 773–776.
3. Майоров П. Л., Немтинов В. Б. Оптическая обработка информации. М., 1999. 9 с.
4. Tohmon R., Shimogaichi Y., Munekuni S. e. a. Relation between the 1.9 eV luminescence and 4.8 eV absorption bands in high-purity silica glass // Appl. Phys. Lett. 1989. Vol. 54, N 17. P. 1650–1652.
5. Силищ А. Р., Трухин А. Н. Точечные дефекты и элементарные возбуждения в кристаллическом и стеклообразном SiO<sub>2</sub>. Рига: Зинатне, 1985. 244 с.