

Волоконно-оптический сенсор на основе органического люминофора для детектирования УФ излучения А диапазона

Д.Н. Шурупов
АО «НПО ГОИ им. С.И. Вавилова»
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого
Санкт-Петербург, Россия
shurupoff.dm@yandex.ru

Г.А. Пчелкин
АО «НПО ГОИ им. С.И. Вавилова»
Санкт-Петербургский
государственный университет
телекоммуникаций им. проф.
М.А.Бонч-Бруевича
Санкт-Петербург, Россия
beegrig@mail.ru

В.В. Демидов
АО «НПО ГОИ им. С.И. Вавилова»
Санкт-Петербург, Россия
demidov@goi.ru

С.К. Евстропьев
АО «НПО ГОИ им. С.И. Вавилова»
Санкт-Петербургский
государственный технологический
институт (технический
университет)
Университет ИТМО
Санкт-Петербург, Россия
evstropiev@bk.ru

В.В. Давыдов
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого
Санкт-Петербургский
государственный университет
телекоммуникаций им. проф.
М.А.Бонч-Бруевича
Санкт-Петербург, Россия
davydov_vadim66@mail.ru

К.В. Дукельский
АО «НПО ГОИ им. С.И. Вавилова»
Санкт-Петербургский
государственный университет
телекоммуникаций им. проф.
М.А. Бонч-Бруевича
Университет ИТМО
Санкт-Петербург, Россия
kdukel@mail.ru

В.М. Волынкин
АО «НПО ГОИ им. С.И. Вавилова»
Санкт-Петербург, Россия
vvolynkin@yandex.ru

Аннотация—В работе описан относительно простой волоконно-оптический сенсор для детектирования УФ-излучения А-диапазона. Конструкция сенсора образована кварцевым капилляром, внутри которого расположена фотоактивная композиция на основе комбинации из органического люминофора, органического растворителя и эпоксиакрилата, контактирующая с многомодовым оптическим волокном. Изменяя соотношение компонентов в фотоактивной композиции, возможно получить ярко выраженный оптический сигнал на длине волны 440 нм, что соответствует длине волны эмиссии люминесценции выбранного органического люминофора. Перспективность использования рассматриваемой конструкции сенсора в качестве детектора УФ-излучения подтверждается линейной зависимостью амплитуды оптического сигнала на выходе волокна от оптической мощности, подаваемой на вход.

Ключевые слова— волоконно-оптический сенсор, люминофор, люминесценция, УФ-излучение.

1. ВВЕДЕНИЕ

Обнаружение ультрафиолетового (УФ) излучения является актуальной задачей во многих сферах антропогенной деятельности, поскольку в неконтролируемом состоянии оно может нанести вред здоровью человека и окружающей среде [1].

Всемирная организация здравоохранения выделяет следующие части спектра УФ-излучения по степени его воздействия на здоровье человека: УФ-С ($\lambda = 100-280$ нм), УФ-В ($\lambda = 280-315$ нм), а также УФ-А ($\lambda = 315-400$ нм) [2].

С другой стороны, известно, что УФ-излучение широко применяется в индустрии для решения целого ряда технологических и производственных задач [3].

Детектирование УФ-излучения с использованием волоконно-оптических сенсоров (ВОС) имеет ряд преимуществ по сравнению с другими типами устройств аналогичной функциональности, прежде всего термоэлектрическими датчиками. ВОС достаточно компактны, легки, электробезопасны, невосприимчивы к электромагнитным помехам и обеспечивают точное измерение параметров окружающей среды в одной точке или по всей длине волокна. В последние годы значительное внимание уделяется разработке люминесцентных ВОС, преобразующих УФ-излучение в оптический сигнал видимого спектрального диапазона за счет фотолюминесценции.

Целью настоящей работы было создание и исследование относительно простого люминесцентного ВОС для регистрации УФ-А излучения. Авторская идея заключалась в использовании трехкомпонентной фотоактивной композиции, преобразующей излучение УФ диапазона спектра в видимое, и многомодового оптического волокна, отвечающего за захват и передачу спектрально преобразованного оптического сигнала, в составе кварцевого капилляра.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Синтез фотоактивной композиции осуществляли в два этапа. На первом этапе использовали органический люминофор 1,3,5-трифенил-4,5-дигидро-1Н-пиразол

(Sigma Aldrich, массовая концентрация 98%) и органический растворитель диметилформамид (ЭКОС-1, массовая концентрация 99,9%). Сначала их тщательно перемешивали, после чего подвергали воздействию ультразвуковых волн в нормальных условиях до образования однородного низковязкого (10^{-3} Па·с) раствора. На втором этапе раствор смешивали с полимерным материалом на основе эпоксиакрилата марки DeSolite 3471-3-14 (Royal DSM) в идентичных условиях для того, чтобы обеспечить вязкость раствора на уровне 10 Па·с. В результате спектральных измерений тонкопленочных покрытий, изготовленных из синтезированного раствора, было установлено, что длина волны возбуждения люминесценции фотоактивной композиции находится вблизи $\lambda = 390$ нм, а длина волны эмиссии люминесценции – в области $\lambda = 440$ нм.

ВОС состоял из горизонтально ориентированного кварцевого капилляра, заполненного фотоактивной композицией с одного конца (рис. 1). Длина заполненного сегмента капилляра составляла 10 мм. С другого конца капилляра вплотную к композиции подводили торец многомодового оптического волокна типа «кварц-кварц» с сердцевинной диаметром 200 мкм. Для обеспечения корректной работы устройства защитное полимерное покрытие удалялось с конца волокна на несколько миллиметров, а сам торец полировался. С целью передачи преобразованного вследствие фотолюминесценции излучения с длиной волны $\lambda = 440$ нм использовалось волокно с сердцевинной из чистого кварцевого стекла марки КУ и тонкой фторсиликатной оболочкой. Пропускание волокна в видимом диапазоне спектра составило более 99 %/м.

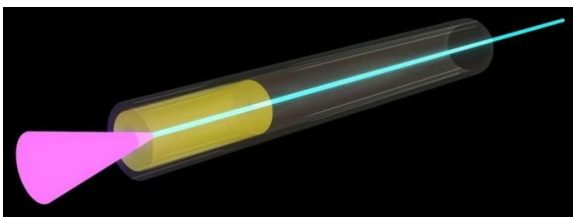


Рис. 1. Схематическое изображение, иллюстрирующее конструкцию ВОС с конусом возбуждающего излучения от ксеноновой лампы в левой части

После осуществления контакта фотоактивной композиции и волокна внутри капилляра всю описанную конструкцию подвергали воздействию облучению в УФ-печи с дозой $0,5$ Дж/см² в течение 30 секунд.

Для подтверждения фотолюминесценции была измерена спектральная характеристика оптического сигнала на выходе ВОС. Измерение проводилось на установке, использованной в работе [4]. Оптическая схема была дополнена оптическим усилителем eLockIn 204 (Anfatec Instruments) и измерителем оптической мощности AQ-1135E (Ando Electric Corporation), соединенными с кремниевым фотоприемником FPD510-FV (Menlo Systems).

На рис. 2 представлена измеренная спектральная характеристика. Поведение кривой свидетельствует об увеличении оптического сигнала не менее чем на 3 дБм над базовым уровнем пропускания ВОС вблизи длины волны эмиссии люминесценции, возбуждаемой в синтезированной фотоактивной композиции на основе выбранного органического люминофора. По мнению

авторов, этот факт подтверждает преобразование излучения с длиной волны $\lambda \sim 390$ нм, сфокусированного на входе волокна, в излучение с длиной волны $\lambda = 440$ нм после прохождения светом участка капилляра, заполненного фотоактивной композицией.

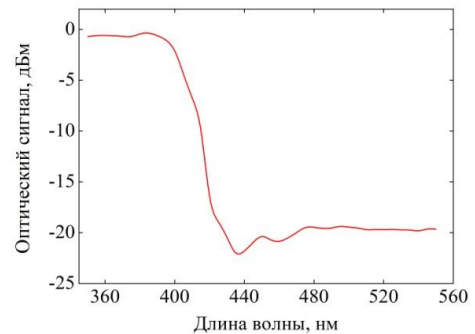


Рис. 2. Измеренная спектральная характеристика оптического сигнала на выходе ВОС

Возможность использования разработанного ВОС для регистрации УФ-А излучения была подтверждена измеренной линейной зависимостью амплитуды оптического сигнала на выходе волокна от мощности вводимого излучения (рис. 3).

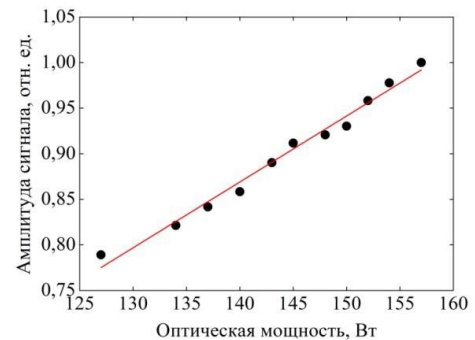


Рис. 3. Измеренная зависимость амплитуды оптического сигнала на выходе ВОС от мощности УФ-излучения

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан и экспериментально исследован люминесцентный волоконно-оптический сенсор для детектирования УФ-излучения А-диапазона. Среди преимуществ датчика – доступность сырьевых материалов и простота изготовления, отсутствие необходимости изменения конструкции волокна путем частичного удаления оболочки и/или нанесения покрытий на основе оптически активных материалов, а также возможность функционирования на значительных расстояниях вдали от источника УФ-излучения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Joza, A.V. Simple and low-cost fiber-optic sensors for detection of UV radiation / A.V. Joza, J.S. Bajic, D.Z. Stupar, M.P. Slankamenac, M. Jelic, M.B. Zivanov // Telfor Journal. – 2012. – Vol. 4. – P. 133-137.
- [2] World Health Organization [Electronic resource]. – Access mode: www.who.int (06.02.2022).
- [3] Agafonova, D.S. Luminescent glass fiber sensors for ultraviolet radiation detection by the spectral conversion / D.S. Agafonova, E.V. Kolobkova, A.I. Ignatiev, N.V. Nikonov, T.A. Shakhverdov, P.S. Shirshnev, A.I. Sidorov, V.N. Vasiliev // Optical Engineering. – 2015. – Vol. 54. – P. 117107.
- [4] Matrosova, A.S. Study of fiber optic elements based on a photoactive polymer composition for sensor applications / A.S. Matrosova, S.K. Evstropiev, L.Yu. Mironov, N.V. Nikonov, A.V. Komarov, V.V. Demidov // Optics and Spectroscopy. – 2019. – Vol. 127. – P. 746-749.