

34. Голографические сенсоры из пищевых биополимеров

А. П. Торопова

Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

Перспективным направлением в области контроля условий хранения пищевых и фармацевтических продуктов является разработка голографических сенсоров, выполняющих роль визуальных индикаторов. Рассматриваемый в данной работе голографический сенсор представляет собой радужную голограмму, дифракционная решетка которой сделана методом литья из пищевого биополимера и имеет свойство разрушаться под воздействием влажности, что позволяет использовать ее в качестве датчика контроля. Время жизни и деградация дифракционных решеток из разных биополимеров может варьироваться от одного часа до одного года в зависимости от физико-химических свойств разных материалов и влияния окружающей среды, что следует из результатов анализа дифракционной эффективности.

Ключевые слова: Голографический сенсор, радужная голограмма, пищевые биополимеры, деградация дифракционных решеток

Цитирование: **Торопова, А. П.** Голографические сенсоры из пищевых биополимеров / А. П. Торопова // HOLOEXPO 2020 : XVII международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. — С. 205–208.

Сегодня в пищевой промышленности большое внимание уделяется контролю качества продуктов и контролю условий их хранения. Такие системы контроля основаны на разных физических явлениях и могут реагировать на изменение температуры, влажности, pH, изменение концентрации кислорода или углекислого газа [1]. Перспективными разработками визуальных индикаторов являются голографические сенсоры.

Голографические сенсоры представляют собой голограммы, изменяющие свои свойства под воздействием внешних факторов: наличия или изменения концентрации какого-либо анализируемого вещества, влияния температуры, влажности, давления, pH-среды. Под воздействием внешних факторов могут происходить изменения размеров дифракционных полос, толщины материала, показателя преломления, в результате чего изменяются дифракционная эффективность, длина волны, спектральный отклик голограммы [2]. В пищевой промышленности применяются голографические датчики, определяющие содержание ионов металлов в молоке [3], концентрацию спирта в алкогольных напитках [4].

Важным параметром для обеспечения контроля условий хранения пищевых продуктов является влажность окружающей среды. Целью настоящего исследования является разработка голографического сенсора влажности для пищевых продуктов.

В качестве аналога рассмотрим подробнее голографический датчик влажности, представляющий собой отражательную голограмму, записанную по методу Ю. Н. Денисюка, на полимерной пленке, изготовленной из смеси двух мономеров: акриламида и *N, N* метиленбисак-

риламида, — связующего полимера — поливинилового спирта, инициатора — триэтаноламина, и фоточувствительного вещества — эритрозина [5]. С увеличением относительной влажности от 10% до 80% фотополимерный слой набухает, расстояние между дифракционными полосами увеличивается, цвет голограммы изменяется от синего до красного. С уменьшением влажности происходит усадка материала, расстояние между полосами уменьшается, и голограмма возвращается к синему цвету. Время отклика датчика составляет порядка 30 секунд. Другой голографический датчик влажности сделан методом литья в полипропиленовую форму с дифракционным микрорельефом суспензии, состоящей из золь-гель систем на основе SiO_2 , TiO_2 и ZrO_2 и многостенных углеродных нанотрубок, повышающих чувствительность к воздействию влажности [6]. Рассмотренные датчики сделаны из не пищевых материалов и могут быть нанесены на упаковку, но не на поверхность самого продукта.

В данной работе рассматривается создание голографических сенсоров из биополимеров, используемых в пищевой промышленности, чувствительных к воздействию влажности окружающей среды. Голографический сенсор представляет собой радужную голограмму, дифракционная решетка которой сделана из пищевого биополимера и имеет свойство разрушаться под воздействием влажности, что позволяет использовать ее в качестве датчика для контроля условий хранения пищевых и фармацевтических продуктов. Время жизни и деградация дифракционных решеток из разных биополимеров может варьироваться от одного часа до одного года в зависимости от физико-химических свойств разных материалов и влияния окружающей среды.

В качестве носителя радужных голограмм использован желатин, для повышения гигроскопичности сенсора добавлены фруктоза, глюкоза и сорбит. Было приготовлено 4 пленкообразующих раствора: 1% раствор желатина в дистиллированной воде и 1% растворы желатина с добавлением 30% от массы желатина фруктозы, глюкозы или сорбита. Растворы перемешали до полного растворения при температуре 70 °C, затем залили в силиконовые формы с дифракционной решеткой с периодом 600 линий на мм. После сушки в течение 24 часов в печи с конвекцией воздуха UT-4620 «Ulab» (Россия) при температуре 25 °C образцы вынули из силиконовых форм и получили полимерные пленки толщиной порядка 10 мкм с радужным изображением.

Для всех образцов была выполнена оценка дифракционной эффективности как отношения интенсивности излучения в первом порядке дифракции к сумме интенсивностей в первом и нулевом порядках дифракции. Измерения интенсивностей проводились в проходящем свете диодного лазера с длиной волны 625 нм с помощью люксметра «ТКА-ПКМ-06». Для исследования деградации дифракционной решетки образцы поместили в эксикатор с температурой 35 °C и влажностью 90%, оценка дифракционной эффективности проводилась каждые 15 минут. На рисунке 1 представлен график деградации дифракционных решеток из чистого желатина и смесей желатина с глюкозой, желатина с фруктозой и желатина с сорбитом.

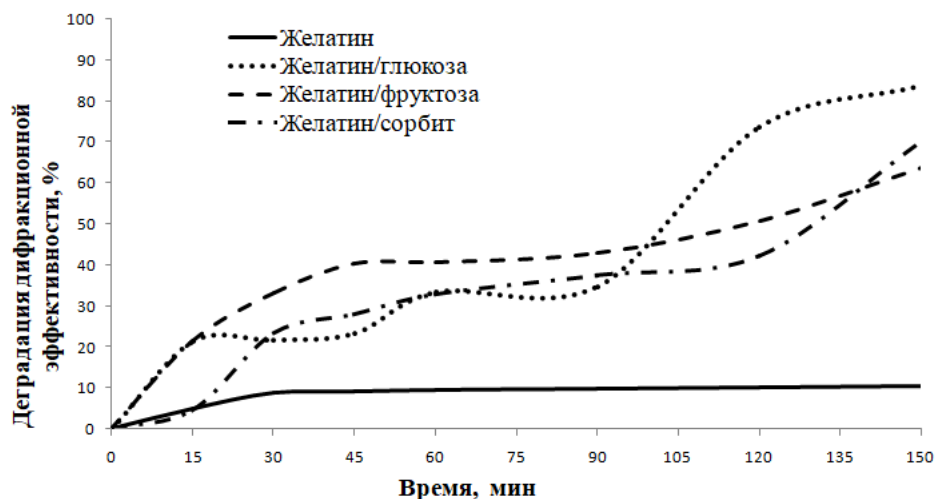


Рис. 1. График деградации дифракционных решеток

По полученным данным видно, что дифракционная эффективность образцов из чистого желатина уменьшается на 10% через полчаса нахождения в условиях агрессивной среды, радужное изображение сохраняется, дальнейших изменений не происходит в течение рассматриваемого временного интервала. Деграляция $\approx 20\%$ наступает через 15 минут у образцов из желатина с добавлением глюкозы и образцов желатина с добавлением фруктозы. У образцов из желатина и сорбита деграляция $\approx 20\%$ наступает через 30 минут. Через 150 минут нахождения в среде у образцов с добавлением фруктозы дифракционная эффективность уменьшается на 64%, с добавлением сорбита — на 70%, с добавлением глюкозы — на 84%, при этом радужные изображения слабо различимы глазом. Полное разрушение решетки на образцах с добавками происходит через 210 минут нахождения в рассматриваемых условиях, а деграляция образцов из чистого желатина происходит за 20 дней. То есть используемые добавки позволили значительно повысить чувствительность голографического сенсора к воздействию влажности. При хранении образцов в нормальных условиях — при температуре не выше 25°C и влажности не более 50% голограммы из чистого желатина сохраняются в течение года, из желатина с добавками — в течение 6 месяцев. Деграляция дифракционных решеток обусловлена гигроскопическими свойствами глюкозы, фруктозы и сорбита.

Полученные результаты показывают, что голограммы из пищевых биополимеров могут быть нанесены непосредственно на поверхность пищевых и фармацевтических продуктов и использованы в качестве голографических сенсоров — визуальных показателей соблюдения условий хранения.

Список источников

- [1] **Sohail, M.** Recent developments in intelligent packaging for enhancing food quality and safety / M. Sohail, D.-W. Sun, Z. Zhu // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. — 2018. — Vol. 58. — № 15. — 13 p.
- [2] **Naydenova, I.** Holographic Sensors / I. Naydenova // *Optical Holography-Materials, Theory and Applications*. — 2020. — P. 165–190.

- [3] **Marshall, A.** Holographic sensors for the determination of ionic strength / A. Marshall, D. Young, S. Kabilan, A. Hussain, J. Blyth, C. Lowe // *Analytica Chimica Acta*. — 2004. — Vol 527. — № 1. — P. 13–20.
- [4] **Mayes, A.** A holographic alcohol sensor / A. Mayes, J. Blyth, M. Kyrolloinen-Reay, R. Millington, C. Lowe // *Analytical Chemistry*. — 1999. — Vol. 71. — P. 3390–3396.
- [5] **Naydenova, I.** Holographic humidity sensors / I. Naydenova, R. Jallapuram, S. Martin, V. Toal // *Humidity sensors: Types, Nanomaterials and Environmental Monitoring*; Editor C. T. Okada. — Nova Science Publishers, Hauppauge, 2011. — P. 117–141.
- [6] **Ilatovskii, D.** Holographic sol-gel monoliths: optical properties and application for humidity sensing / D. A. Ilatovskii, V. Milichko, A. V. Vinogradov, V. V. Vinogradov // *Royal Society Open Science*. — 2018. — Vol 5. — P. 172465.