

# Основные тренды развития стеклообразных материалов для применений в фотонике и голографии в XXI веке

*Н. В. Никоноров*

Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

2022 год объявлен Международным Годом Стекла. Цель — привлечение внимания международной общественности к развитию фундаментальных и прикладных наук в области стекла и вовлечению в стекольную среду молодых специалистов. Настоящий доклад посвящен оптическим стеклам, которые решают задачи в фотонике и голографии. Показана роль оптического стекла в жизни человека, рассмотрена хронология развития и прорывные стекольные технологии. Определены ключевые тренды развития фотоники и стеклообразных материалов в XXI веке. Рассмотрено современное состояние оптической науки и индустрии в России и Университете ИТМО. Приведен пример разработки фото-термо-рефрактивного стекла и создания широкой линейки голографических оптических элементов фотоники нового поколения. Отдельное внимание уделено подготовке кадров по стекольному направлению.

*Ключевые слова:* Оптическое стекло, Роль оптического стекла, Тренды развития оптического стекла, Фото-термо-рефрактивное стекло, Голографические оптические элементы.

*Цитирование:* **Никоноров, Н. В.** Основные тренды развития стеклообразных материалов для применений в фотонике и голографии в XXI веке / Н. В. Никоноров // HOLOEXPO 2022:

XIX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям :

Тезисы докладов. — Барнаул: ИП Колмогоров И. А., 2022. — С. 20–23.

2022 год объявлен Международным Годом Стекла. Цель — привлечение внимания международной общественности к развитию фундаментальных и прикладных наук в области стекла и вовлечению в стекольную среду молодых специалистов. В докладе дан обзор по одному из направлений в стекольной отрасли - оптическим стеклам, которые решают задачи в оптике и фотонике. По сравнению с общим объемом выпуска стекольной продукции, включающей тарное, листовое, сортовое, светотехническое, медицинское, химико-лабораторное, стекловолокно, направление оптических стекол занимает небольшую часть ~ 1–2 %. Но это крайне важный и востребованный сектор на рынке фотоники. Так стоимость килограмма оптического стекла может превышать стоимость килограмма тарного, листового или сортового стекла в сотни раз. Оптические стекла, по сравнению с техническими стеклами, охватывают чрезвычайно широкое разнообразие составов и легирующих добавок. Так, например, для оптических стекол используются силикатные, фосфатные, боратные, германатные, алюминатные, теллуридные и т.д. стеклообразующие составы. Оптические стекла обладают чрезвычайно разнообразным функционалом, который позволяет проводить разнообразные операции со световыми потоками: передавать световые потоки, выделять заданные спектральные диапазоны, генерировать, усиливать и модулировать свет, преобразовывать длину волны света, вращать плоскость поляризации, записывать и хранить информацию и т.д. Для этих задач стекла легируются широким спектром добавок: ионами

редких земель, переходных и благородных металлов, молекулярными кластерами, квантовыми точками, наночастицами и нанокристаллами.

Сегодня можно выделить несколько ключевых трендов в развитии оптических стекол в XXI веке:

1) разработка стекол для миниатюризации оптических и фотонных элементов, приборов и систем с целью уменьшения их массогабаритных характеристик, энергопотребления и управляющих воздействий;

2) расширение функционального диапазона работы стекол. На смену традиционным оптическим материалам должны прийти наноматериалы, обладающие уникальными квантово-размерными характеристиками, и метаматериалы, обладающие физическими свойствами, которые не встречаются в природе (отрицательной диэлектрической и магнитной проницаемостью). Должны быть созданы не только лабораторные образцы этих материалов, а разработаны их промышленные технологии;

3) разработка оптических стекол, позволяющих проводить гибридную и монолитную интеграцию оптических и фотонных элементов, приборов и систем на единой подложке;

4) разработка оптических стекол со сверхбыстрым (фс) переключением и с низким уровнем энергии управляющих сигналов (фДж) для создания полностью оптических устройств управления сигналом;

5) разработка сверхчистых стекол с рекордно низкими потерями и специальным ходом дисперсии для волоконных линий связи и фотолитографии;

6) разработка стекол для микро-структурированных и фотонно-кристаллических оптических волокон, в том числе активированных для волоконных лазеров и сенсоров;

7) разработка стекол и стеклокерамик, в том числе активированных, для получения крупногабаритных оптических элементов высокого оптического качества (лазерный термоядерный синтез, фотолитография, астрономическая оптика);

8) разработка гибридных материалов типа «стекло-полимер» для сверхлегких оптических элементов (авионика, космос);

9) разработка сверхпрочных стекол и стеклокерамик (авионика, глубоководные и космические аппараты);

10) разработка сверхтонких крупногабаритных стеклянных панелей (дисплеи, солнечные батареи, гибкая и рулонная оптика);

11) разработка стекол с низкими температурами формования и молирования и особым ходом дисперсии (микрооптика);

12) разработка стекол и стеклокерамик, работающих в среднем и дальнем ИК спектральном диапазоне, а также ТГц диапазоне;

13) разработка фоточувствительных стекол и стеклокерамик для голографических оптических элементов нового поколения.

В докладе рассмотрено современное состояние в оптической стекольной отрасли в мире, России и Университете ИТМО. Так, например, в Университете ИТМО разработана широкая линейка стекол нового поколения:

– лазерные высококонцентрированные стекла и стеклокерамики, активированные редкоземельными ионами, для мини- и микролазеров ближнего ИК диапазона;

– стекла с нанокристаллами рубина для лазеров красного диапазона спектра, используемых в медицине и косметологии;

– магнитооптические стекла, реализующих эффект Фарадея, для оптических изоляторов и волоконных датчиков магнитных и электрических полей;

– нелинейно-оптические стекла с нанокристаллами галогенидов и халькогенидов металлов для фильтров-лимитеров, защищающих органы зрения и фотоприемники от действия импульсного лазерного излучения;

– плазмонные стекла, легированные наночастицами серебра и меди, для химических и биологических сенсоров;

– люминесцентные стекла, легированные ионами редких земель и переходных металлов, в том числе стекла с нанокристаллами перовскитов, для люминофоров и маркеров;

– ионообменные и сверхпрочные стекла для планарных волноводов и градиентных оптических элементов, а также сверхтонких дисплеев и защитных стекол солнечных батарей;

– фото-структурируемые стекла для «лабораторий на чипе» и микросистем полного анализа;

– фотохромные и мультихромные стекла для архивной памяти, оптической записи монохромного и цветного изображения;

– фото-термо-рефрактивные (ФТР) стекла для записи объемных фазовых голограмм.

Отличительной особенностью разработок Университета ИТМО является создание не только стекол, но и оптических элементов и устройств на их основе. Так, например, на основе разработанного ФТР стекла создана линейка голографических оптических элементов и устройств фотоники нового поколения:

– сверхузкополосные фильтры для повышения спектральной яркости излучения и температурной стабилизации длины волны лазеров, в том числе полупроводниковых;

– объемные брэгговские решетки для одночастотных лазерных источников, применяемых в квантовых коммуникациях;

– голографические призмы для калибровки углоизмерительных и углозадающих приборов навигации;

– сумматоры мощных лазерных пучков;

– метки для голографических коллимационных лазерных прицелов;

– дисплеи и очки дополненной реальности и т.д.

Отличительной особенностью разработок Университета ИТМО является создание не только стекол, но и оптических элементов и устройств на их основе. Так, например, на основе разработанного ФТР стекла создана линейка голографических оптических элементов и устройств фотоники нового поколения:

– сверхузкополосные фильтры для повышения спектральной яркости излучения и температурной стабилизации длины волны лазеров, в том числе полупроводниковых;

- объемные брэгговские решетки для одночастотных лазерных источников, применяемых в квантовых коммуникациях;
- голографические призмы для калибровки углоизмерительных и углозадающих приборов навигации;
- сумматоры мощных лазерных пучков;
- метки для голографических коллимационных лазерных прицелов;
- дисплеи и очки дополненной реальности и т.д.

Разработанные в Университете ИТМО новые стекла, элементы и устройства на их основе позволяют успешно конкурировать на мировом рынке фотоники.

Отдельное внимание в докладе уделено подготовке кадров для оптической стекольной отрасли. Показано, что в оптической индустрии востребована не только университетская стекольная наука и ее продукция, но и выпускники высокой квалификации с широким профилем компетенций.

## **The main trends in the development of glassy materials for applications in photonics and holography in the XXI century**

*N. V. Nikonorov*

ITMO University, St. Petersburg, Russia

2022 has been declared the International Year of Glass. The goal is to attract the attention of the international community to the development of fundamental and applied sciences in the field of glass and to involve young specialists in the glass environment. This report is devoted to optical glasses that solve problems in photonics and holography. The role of optical glass in human life is shown, the chronology of development and breakthrough glass technologies are considered. The key trends in the development of photonics and glassy materials in the XXI century are determined. The current state of optical science and industry in Russia and ITMO University is considered. An example of the development of photo-thermo-refractive glass and the creation of a wide range of holographic optical elements of photonics of a new generation is given. Special attention is paid to students training in the glass industry.

*Keywords:* Optical glass, Role of optical glass, Optical glass development trends, Photo-thermo-refractive glass, Holographic optical elements.