

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Гончарского Антона Александровича “Разработка методов синтеза нанооптических элементов для формирования 2D и 3D изображений”, представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальностям

### 1.3.6. Оптика

#### 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертация А. А. Гончарского “Разработка методов синтеза нанооптических элементов для формирования 2D и 3D изображений” посвящена актуальным проблемам разработки новых наукоемких оптических технологий. Одним из основных приложений является защита от подделки банкнот, паспортов, ID карт и т.п. Как показано в диссертации одним из наиболее эффективных методов борьбы с подделками является использование наукоемких технологий. Именно в этом направлении диссертантом получены прорывные результаты. Разработанные защитные нанооптические элементы имеют микрорельеф и могут быть тиражированы. Наибольший интерес вызывают результаты, полученные с использованием многоградационных микроструктур. Для их синтеза в диссертации используется электронно-лучевая литография, обеспечивающая точность формирования микрорельефа по глубине порядка 10 нанометров. В настоящее время, кроме Российской Федерации, лишь несколько стран в мире проводят исследования в этом направлении.

Первые главы диссертации посвящены задачам синтеза нанооптических элементов для формирования 2D изображений. Во второй главе диссертации разработаны методы синтеза дифракционных оптических элементов, позволяющих формировать эффект смены 2D изображений при повороте на 180 градусов. Предложены два варианта решения этой задачи. В каждом из вариантов для формирования микрорельефа используются многоградационные структуры. Визуальный эффект легко контролируется.

В главе 3 диссертации разработаны методы синтеза нанооптических элементов, которые формируют кинетический эффект движения нескольких символов при наклоне оптического элемента. Фазовая функция оптических элементов состоит из фазовой функции киноформа, формирующего изображения символов, с параболической или седлообразной фазовой функции линзы Френеля. Подробно рассмотрены варианты, когда защитный элемент формирует изображение, состоящее из одного, двух, трех и четырех отдельных символов. Разработаны методы расчета фазовой функции многоградационного дифракционного элемента для каждого варианта.

В главе 4 диссертации разработан многоградационный нанооптический элемент, который при освещении источником белого света при небольших углах дифракции формирует 2D изображения, состоящие из ярких полос,двигающихся разнонаправленно навстречу друг другу при наклоне элемента.

При больших углах дифракции наблюдатель видит другое цветное изображение. Для формирования микрорельефа используются многоградационные внеосевые микролинзы Френеля. Определены оптимальные параметры нанооптического элемента. Такие элементы предназначены для использования в тонких нитях для защиты банкнот.

Важным результатом диссертации является синтез нанооптических многоградационных элементов для формирования 3D изображений, задаваемых набором 2D кадров, видимых из разных точек наблюдения. Наиболее интересный результат получен в задаче формирования 3D изображения в окрестности нулевого порядка дифракции. Сформированное 3D изображение остается трехмерным как при наклонах оптического элемента, так и при его повороте на 360 градусов. Этот результат, опубликованный автором диссертации в 2022 году в журнале *Nature Scientific Reports*, был отобран в число лучших 30 достижений в оптике за 2022 год по версии журнала *Optics&Photonics News*, издаваемого *Optical Society of America*.

Другой важный результат в задачах формирования 3D изображений на неплоских поверхностях с помощью плоской оптики получен в главе 7. Задача решена для цилиндрической поверхности. Для формирования микрорельефа во всех главах диссертации использована электронно-лучевая технология, в которой используются плоские пластины с электронным резистом. Сформировать микрорельеф непосредственно на неплоской поверхности с помощью электронно-лучевой литографии не представляется возможным. В диссертации предложен метод расчета фазовой функции плоского дифракционного оптического элемента. Если разместить этот элемент на цилиндрической поверхности, то наблюдатель при освещении точечным источником света будет видеть 3D изображение.

В главах 8 и 9 обсуждается проблема разработки портативных приборов для автоматизированного контроля подлинности защитных оптических элементов. В главе 8 показано, что возможности решения этой проблемы с использованием самых современных смартфонов весьма ограничены. В главе 9 в задачах автоматизированного контроля диссертантом получены прорывные результаты. Разработаны специальные многоградационные нанооптические элементы и портативный прибор для их контроля. Процедура контроля не зависит от поворота и положения прибора на оптическом элементе. Для определения оптимальных параметров нанооптического элемента и прибора контроля использовались как методы математического моделирования, так и эксперименты с прототипами. В основу разработки положен простой защитный признак – угловое расстояние между фрагментами изображения, сформированного на двух кольцах детекторов. Решение (свой/чужой) о подлинности принимается микропроцессором прибора Atmega88 за время менее 10 миллисекунд. Проведенные испытания показали высокую эффективность автоматизированного контроля и надежную защиту элемента от подделок.

В публикациях результатов диссертации кроме фотографий, включены видео, снятые с реальных образцов нанооптических элементов. Новизна

результатов подтверждается девятью международными патентами, а также публикациями в высокорейтинговых журналах.

Считаю, что работа соответствует специальностям 1.3.6. «Оптика» и 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (по физико-математическим наукам), а также критериям, определённым пп. 2.1–2.5 «Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова», предъявляемым к докторским диссертациям, и оформлена согласно приложениям № 8 и 9 «Положения о совете по защите диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова», а её автор — Гончарский Антон Александрович — заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальностям 1.3.6. Оптика и 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Сигов Александр Сергеевич  
профессор, академик РАН, доктор физико-математических наук  
президент МИРЭА — Российский технологический университет  
зав. Кафедрой наноэлектроники.

Я, Сигов Александр Сергеевич, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета МГУ.013.6, и их дальнейшую обработку.