

## 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 и 1.2.2. – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Автореферат докторской диссертации А. А. Гончарского «Разработка методов синтеза нанооптических элементов для формирования 2D и 3D изображений» содержит 39 страниц текста и освещает содержание диссертационной работы, посвященной разработке методов синтеза нанооптических защитных элементов и их практической реализации.

Начнем с общего впечатления. Из реферата следует, что разрабатываемые нанооптические элементы представляют собой дифракционные фазовые элементы, микрорельеф которых при освещении белым светом формирует различные 2D и 3D изображения. Диссертация, в целом, содержит решение двух задач. Первая задача, успешно решенная в диссертации, содержит разработку методов расчета микрорельефа, базирующихся на алгоритмах решения обратных задач в скалярной волновой модели. Характерные параметры микрорельефа при размере элемента в несколько десятков квадратных сантиметров составляют доли микрона. Глубина микрорельефа варьируется от 0.1 до 0.3 микрона. Как показано в диссертации, требуемая точность формирования микрорельефа по его глубине должна составлять порядка 0.01 микрона. Второй задачей, также успешно решенной в диссертации, является экспериментальное формирование микрорельефа с такими параметрами с использованием электронно-лучевой литографии. Важным результатом работы по разработке нанооптических элементов для формирования 2D и 3D изображений является то, что эффективность предложенных методов синтеза продемонстрирована реальными дифракционными элементами, предназначенными для защиты от подделок паспортов, пластиковых карт, брэндов и т.д. Нужно отметить, что диссертант сделал подробный доклад по диссертации на заседании кафедры физики полупроводников и криоэлектроники физического факультета МГУ, который вызвал большой интерес, в частности, к деталям формирования наноструктур на большой площади. Данные вопросы были разобраны профессионально, поскольку в «Учебно-методическом центре литографии и микроскопии» кафедры электронная литография используется для формирования элементов современной наноэлектроники.

Перейдем к содержательной части автореферата. Как следует из него, во 2 главе диссертации разработаны методы решения обратной задачи синтеза нанооптических элементов, формирующие в нормальном положении элемента цветное 2D изображение, которое при повороте элемента на 180 градусов теряет цветность и становится серым. Требования, предъявляемые к защитным элементам для визуального контроля, очень просты. Защитный признак должен быть легко контролируем, а элемент должен быть надежно защищен от подделки. Приведенный результат демонстрирует, что с помощью разработанных в диссертации методов синтеза эта задача решается, но нужно отметить, что расчет микрорельефа оптического элемента представляет собой сложную нелинейную обратную задачу.



Другой пример синтеза нанооптических элементов для формирования 2D изображений приведен в главе 3. В явном виде выписана формула для фазовых функций оптических элементов, формирующих изображение, состоящее из двух или трех символов, которое при изменении положения оптического элемента перемещаются по его поверхности. Визуальный признак легко контролируем. Микрорельеф оптического элемента является асимметричным.

Реферат содержит и краткое описание разработанных в диссертации методов синтеза нанооптических элементов для формирования 3D изображений (глава 5). Особый интерес представляет возможность синтеза нанооптических элементов на неплоских поверхностях. Электронно-лучевая литография предъявляет очень жесткие требования к пластинам с электронным резистом. Малейшие отклонения от плоскости будут приводить к дефектам изображения. В диссертации разработаны методы синтеза элементов на цилиндрической поверхности, в которых рассчитывается микрорельеф плоского оптического элемента, который будучи помещенным на цилиндрическую поверхность сформирует видимое наблюдателю 3D изображение. Такие элементы изготовлены и демонстрируют работоспособность предложенных в диссертации методов.

Суммируя, можно отметить, что главы диссертации с первой по восьмую посвящены разработке методов синтеза защитных элементов для визуального контроля. Особый интерес вызывает освещение в автореферате результата, полученного в главе 9. В этой главе решена задача автоматизированного контроля подлинности защитных элементов. Разработан портативный прибор автоматизированного контроля вес которого не превышает 100 граммов. В качестве источника света в приборе используется лазерный диод. Рассеянное оптическим элементом излучение формирует в фокальной плоскости асимметричное изображение, состоящее из кольцевых секторов на двух концентрических окружностях. Изображения контролируются двумя кольцами детекторов. Аналоговые сигналы поступают на АЦП. Оцифрованный массив данных пересылается в микроконтроллер, который принимает решение о подлинности (свой/чужой) за время порядка 10 миллисекунд. Разработанный метод позволяет с очень высокой надежностью контролировать подлинность защитных элементов. Эта разработка не имеет аналогов.

Как видно из автореферата, диссертация А. А. Гончарского содержит новые научные результаты и демонстрирует возможности компьютерного синтеза нанооптических защитных элементов, предназначенных как для визуального, так и для автоматизированного контроля. Отметим, что все разработанные дифракционные оптические элементы имеют микрорельеф, который можно тиражировать на стандартном оборудовании для производства защитных голограмм. Разработанные элементы надежно защищены от подделок, поскольку технология является наукоемкой, а оборудование является дорогим и малораспространенным. Особенностью диссертации является то, что ее методы и технические решения защищены 8-ю как российскими, так и международными патентами, что защищает интеллектуальную собственность и подтверждает новизну. Работы автора по теме диссертации опубликованы в 17 статьях в журналах, удовлетворяющих Положению о присуждении ученых степеней в МГУ имени М.В. Ломоносова, в одной книге и в 4-х сборниках трудов.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация Гончарского Антона Александровича «Разработка методов синтеза нанооптических элементов для формирования 2D и 3D изображений», является законченным высоко квалифицированным трудом и соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук в соответствии с Положением о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а ее автор Гончарский Антон Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальностям 1.3.6. – оптика и 1.2.2. – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Доктор физ.-мат. наук, профессор,  
заведующий кафедрой физики  
полупроводников и криоэлектроники  
физического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова

О.В. Снигирев

« 05 » \_\_\_\_\_ 09 \_\_\_\_\_ 2024 г.

Снигирев Олег Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор по специальности 1.3.2. (01.04.01) «Приборы и методы экспериментальной физики».

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (физический факультет МГУ), профессор заведующий кафедрой физики полупроводников и криоэлектроники.

Подпись Снигирева О.В. удостоверяю