

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу **Михеева Петра Андреевича** «Программные методы расчёта и коррекции электромагнитных полей», предоставленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Задача синтеза заданных электромагнитных полей имеет принципиальное значение для целого ряда задач электродинамики, оптики, радиофизики, микроэлектроники и т.п.

Один из способов решения этой задачи заключается в преобразовании когерентного излучения перфорированной пластиной, размеры и положение отверстий в которой специальным образом рассчитаны. Такой подход позволяет значительно упростить и удешевить оптическую систему. Для расчёта размеров и координат отверстий в перфорированной пластине может использоваться классический метод Габора. Однако для многих практических приложений его применение осложнено большой вычислительной сложностью и недостаточной точностью синтеза электромагнитного поля.

В диссертационной работе Михеева П. А. предложена методика расчета, позволяющая радикально улучшить результаты, достигаемые при использовании метода Габора. Полученные результаты несомненно могут найти широкий спектр приложений в оптике, радиолокации, радиометрии, микроэлектронике, в антенной и волноводной технике и др. Например, описанный метод синтеза электромагнитного поля будет полезен при контроле качества различных оптических систем, так как позволяет сгенерировать волну, которая при прохождении через проверяемую оптическую систему должна стать плоской. По отклонению результирующего волнового фронта от плоскости можно выявлять и корректировать дефекты проверяемой оптической системы.

Одним из наиболее интересных приложений предложенного метода синтеза является использование его для генерации заранее заданных изображений, содержащих топологические элементы с суб-волновыми размерами, что может привести, например, к радикальному изменению микролитографического процесса, используемого в современном производстве интегральных схем.

В этой связи диссертационная работа Михеева П. А. является безусловно актуальной и имеет большое научное и практическое значение.

К существенным научным результатам, полученным диссертантом, следует отнести:

1. Исследование области применимости скалярной модели дифракции в задаче рассеяния электромагнитной волны на перфорированной пластине и доказательство возможности её использования для типичных задач расчёта масок суб-волновой голографической литографии.

2. Разработка алгоритма оптимизации, позволившего использовать метод Габора для получения качественных суб-волновых изображений.

3. Разработка быстрого алгоритма расчёта перфорированной пластины, кардинально снижающего его вычислительную сложность и позволившего применять описанный подход для синтеза изображений с большим количеством элементов.

Достоверность и новизна научных положений диссертации возражений не вызывают. Они прошли апробацию и обсуждение на нескольких научных конференциях и семинарах в нашей стране и за рубежом и получили положительную оценку специалистов. Научные положения подтверждены проведением серии численных экспериментов.

Рассматриваемая работа представляет большой интерес с двух точек зрения. Во-первых, разработка нового математического аппарата для проведения компьютерного метода решения обратной задачи формирования размеров и положения технологических отверстий в перфорированной пластине, с помощью которого можно реализовать создание на поверхности заданной геометрии необходимую структуру электромагнитного излучения оптического или радиочастотного диапазона длин волн. Это чрезвычайно сложная и чрезвычайно важная математическая задача. Во-вторых, здесь присутствует не менее важная и сложная инновационная задача оптимизации технологий модификации свойств поверхности. В такой ситуации мы часто говорим, что обычно сначала технология экспериментально оптимизируется, а затем пишется цикл диссертаций с целью объяснить, почему это так. В нашем случае ситуация обратная, что резко снижает временные и материальные затраты и, соответственно, конечную стоимость продукта.

Практическая значимость диссертации подтверждается использованием полученных автором результатов швейцарской фирмой Nanotech SWHL GmbH. Интерес фирмы к разработанной методике был связан с тем, что она позволяет на порядок уменьшить стоимость производства масок и литографического оборудования, которые могут быть

использованы для создания интегральных схем с суб-волновыми элементами методом суб-волновой голографической литографии, разрабатываемой этой фирмой.

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении сформулированы актуальность темы, цель исследования, научная новизна, основные положения, выносимые на защиту, и практическая значимость работы.

В первой главе сформулирована постановка задачи и описан существующий метод расчёта размеров отверстий в перфорированной пластине.

Во второй главе рассмотрены две приближенных модели дифракции. В параграфе 2.2 — получение расчетных формул в рамках векторной модели, 2.3 — в рамках скалярной модели. В 2.4 описывается созданный диссертантом алгоритм быстрого расчёта поля на прямоугольной сетке с шагом, кратным шагу расположения отдельных точечных источников. Этот алгоритм позволил уменьшить вычислительную сложность расчёта.

Основное содержание **третьей главы** заключается в определении границ применимости скалярной модели. Диссертанту удалось показать, что для угловых апертур до 90 градусов при расчете перфорированной пластины может быть использована скалярная модель дифракции.

В четвертой главе описывается разработанный диссертантом алгоритм оптимизации, основанный на методе градиентного спуска.

В работе имеется **приложение**, в котором демонстрируются результаты реального практического использования разработанной методики расчёта масок для суб-волновой голографической литографии (литография — одна из основных технологических процедур формирования на кремниевой подложке необходимого рисунка интегральной схемы). Эти результаты вынесены в приложение по той простой причине, что соответствующий патент является собственностью основанной проф. В.И. Раховским компании Nanotech SWHL GmbH, соавтором которого является и автор представленной диссертации. Насколько мне известно, проф. В.И. Раховский является инициатором проведения исследования и научным консультантом по обсуждаемой в диссертации теме.

Замечания по диссертации:

1. Структура диссертации не соответствует общепринятой: введение, обзор литературы, далее постановка задачи, оригинальные результаты автора и заключение (выводы). Поэтому при первом чтении не сразу ясно, что на самом деле в первой главе диссертации обсуждаются более ранние работы, проведенные научным коллективом, в который входит один из научных руководителей Михеева П.А., а диссертация является логическим продолжением этих работ.

2. В качестве недостатков оформления работы можно также отметить практически систематическое отсутствие необходимых подписей под рисунками, что затрудняет чтение диссертации. В качестве примера можно привести первый рисунок, из которого вовсе не очевидна сферичность волн, не указаны координаты точек $Z=0$ и $Z=L$. На рис. 2 нарисована стрелка с обозначением скалярной величины R , но не обозначен вектор l скалярной модели и т. п.

3. В работе отсутствует обоснование корректности использования метода Кирхгофа в рассматриваемой области значений параметров задачи.

4. При исследовании точности скалярной модели дифракции рассматриваются угловые апертуры до 90 градусов. В микролитографии часто используются и большие апертуры. Не понятно, применимы ли описанные алгоритмы расчёта для оптических схем с высокой апертурой.

Стиль и оформление. Текст диссертации написан грамотным техническим языком, снабжен достаточным количеством рисунков и таблиц. Материал корректно распределен по главам.

Содержание автореферата в полной мере отражает основные положения диссертации, выводы и результаты.

ОЦЕНКА ПУБЛИКАЦИЙ

Основные результаты диссертации в достаточной степени изложены в 10 публикациях. Среди них 3 публикации в изданиях, рекомендованных ВАК, 4 патента и 3 публикации в тезисах докладов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценивая диссертацию П.А. Михеева в целом, несмотря на указанные в отзыве недостатки, следует заключить, что она является законченным научным исследованием, выполненным лично автором, в котором решена поставленная задача разработки метода расчета перфорированной пластины, обеспечивающего требуемое качество синтеза электромагнитного поля.

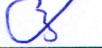
Считаю, что диссертация П.А. Михеева выполнена на высоком научном уровне и является законченным научным трудом, удовлетворяющим всем требованиям ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а Михеев Петр Андреевич заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент,

доктор физико-математических наук, профессор

главный научный сотрудник

физического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»

Александров Андрей Федорович  28.11.16.

Адрес: 119991, г. Москва, Ленинские горы, д.1, стр. 2, физический факультет МГУ

Телефон: (495) 939-25-74

E-mail: aleksandrov@gmail.com

Декан физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
профессор



 Н.Н. Сысоев