

"УТВЕРЖДАЮ"

Директор Самарского филиала
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Физического института им. П.Н.
Лебедева Российской академии наук
(СФ ФИАН)

В.С. Казакевич

2017 г.

ОТЗЫВ

ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Бориса Олеговича Володкина «**Методы создания и экспериментального исследования дифракционных оптических элементов ТГц диапазона**», представленную на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.04.05 - «Оптика»

1. Актуальность работы

В настоящее время происходит интенсивное развитие техники, работающей в терагерцовом диапазоне. Терагерцовая (ТГц) область электромагнитного спектра, лежащая в диапазоне от 0,3 до 20 ТГц ($10 - 600 \text{ см}^{-1}$, $1 \text{ мм} - 15 \text{ мкм}$), открывает новые возможности для исследований в таких областях как: химия, физика, биология, материаловедение и медицина. В частности, терагерцовое излучение может быть использовано для неразрушающего исследования биологических объектов, для задач дистанционного зондирования земли, спектроскопии материалов, обнаружения и идентификации объектов, терагерцовой томографии, исследований в области физики плазмы, создания перспективных систем телекоммуникаций. Активное развитие техники терагерцового диапазона происходит за счет появления в последние годы новых источников и приемников терагерцового излучения. Развитие лазеров на свободных электронах, работающих в терагерцовом диапазоне электромагнитного спектра, открыло новые возможности в фундаментальных и прикладных исследованиях. Появление новых мощных источников ТГц излучения выявило задачу управления поперечно-модовым составом этого излучения.

Представленная диссертационная работа посвящена созданию и исследованию элементов силовой дифракционной оптики, предназначенной для управления пространственным распределением интенсивности пучков мощного излучения ТГц диапазона.

2. Научная новизна исследований и полученных результатов

На основании проведенных исследований автором получен ряд новых научных результатов:

1. Впервые получены дифракционные оптические элементы ТГц диапазона способные работать при плотности мощности 4 кВт/см^2 в максимуме освещающего гауссова пучка, что соответствует пиковой мощности для 100-пикосекундного импульса почти 8 МВт/см^2 .

2. Впервые получены дифракционные оптические элементы позволяющие фокусировать ТГц излучение в протяженную фокальную область в форме соосного отрезка с энергетической эффективностью более 18%.

3. Впервые получены терагерцовые бинарные кремниевые дифракционные оптические элементы, формирующие моды Гаусса-Эрмита с номерами (1,0) и (1,1) и пучки, состоящие из мод Гаусса-Лагерра (2,2) и Гаусса Лагерра (2,-2) с равными весами, а также бинарные винтовые аксиконы, с помощью которых были сформированы бесселевы пучки с топологическими зарядами (± 1) и (± 2).

3. Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Достоверность полученных результатов подтверждается совпадением результатов численного моделирования и экспериментальных данных полученных в ходе многочисленных экспериментов. Численный расчёт производился с использованием скалярной теории дифракции и специализированного программного обеспечения. Экспериментально измеренные распределения интенсивности в фокальной плоскости дифракционных оптических элементов ТГц диапазона совпадают с результатами численного моделирования, полученного с помощью скалярной теории дифракции.

4. Теоретическая и практическая значимость работы

Научная и практическая значимость работы состоит в том, что ее результаты существенно расширяют возможности управления пучками мощного терагерцового излучения и позволяют создавать дифракционные оптические элементы для задач диагностики и спектроскопии, дистанционного зондирования и др.

Разработанная методика создания дифракционных оптических элементов ТГц диапазона имеет большую практическую значимость при создании новых типов дифракционных элементов, которые могут быть использованы для решения широкого круга прикладных задач в области ТГц оптики.

5. Общая характеристика работы

Диссертация Володкина Б.О. состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения и библиографического списка.

Во введении обоснованы актуальность темы, новизна, практическая значимость и достоверность результатов работы, проведен обзор научной литературы по теме диссертационного исследования и сформулированы основные результаты, выносимые на защиту.

В первой главе рассматриваются и подробно анализируются известные методы изготовления оптических элементов ТГц диапазона. В результате проведенного анализа обоснованно сделан вывод о целесообразности использования Bosh процесса для травления высокоомного кремния. Разработан метод формирования кремниевых дифракционных оптических элементов терагерцового диапазона.

Во второй главе рассматривается изготовление (при помощи метода формирования бинарного микрорельефа, разработанного в первой главе) дифракционных линз и бинарных дифракционных делителей терагерцового диапазона. Также для улучшения характеристик оптических элементов предложено использовать антиотражающие покрытия из парилена.

В третьей главе рассматривается изготовление и исследование фокусаторов из гауссова пучка в квадрат, а фокусатора для фокусировки излучения в область в форме соосного отрезка. В результате экспериментальных исследований доказано, что созданный дифракционный элемент позволяет фокусировать терагерцовое излучение в протяженную фокальную область в форме соосного отрезка с энергетической эффективностью более 18%.

В четвертой главе рассматривается изготовление и исследование бинарных дифракционных элементов для формирования требуемого распределения интенсивности (моды Гаусса-Эрмита и Гаусса-Лагерра), а также мод Бесселя.

В заключении перечислены основные результаты диссертационного исследования.

В приложении приведены результаты исследования четырехуровневой кремниевой дифракционной линзы, изготовленной с помощью технологии фемтосекундной лазерной абляции, разработанной в ИОФ РАН (г. Москва).

6. Рекомендации по применению результатов

Разработанные в диссертации методы создания дифракционных оптических элементов позволяют получить новые типы дифракционных элементов для решения задач ТГц оптики. Изготовленные в диссертационной работе дифракционные оптические элементы могут быть использованы для решения

задач дистанционного зондирования, ТГц томографии, спектроскопии, телекоммуникации, исследований в области ТГц плазмоники и физики плазмы.

7. Замечания

Диссертация не лишена некоторых недостатков, среди которых можно отметить следующие.

1. В работе приводятся результаты только для бинарных элементов и отсутствует анализ и обоснование этого. С другой стороны, для субмиллиметрового диапазона технология вполне позволяет изготавливать элементы с различным количеством градаций фазы.
2. При формировании световых полей заданного модового состава рассмотрены только действительные комбинации, поэтому утверждения диссертации по этому вопросу не выглядят убедительными.
3. Отсутствует подробная физико-химическая модель ионно плазменного травления.
4. Научные положения, выносимые на защиту, сформулированы как пункты научной новизны и практически полностью повторяют их
5. На стр. 50 на рисунке 3.12 интенсивность выражается в относительных единицах. В тексте диссертационной работы не сказано на какую величину осуществляется нормировка интенсивности волнового пучка.
6. На стр. 73 в формуле (4.4) определения интенсивности $I(x, y)$ очевидно совершена опечатка в формуле в место «cos» указан «cox».

8. Оценка диссертации в целом

Сделанные замечания не снижают научной и практической ценности диссертационной работы, которая является законченным исследованием и соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Все основные результаты диссертационной работы отражены в публикациях автора, включая 12 статей в ведущих рецензируемых журналах, внесенных в Перечень журналов и изданий, утвержденных ВАК. Содержание диссертации соответствует содержанию опубликованных работ. Полученные в работе результаты соответствуют поставленным целям, соответствие темы диссертации и научной специальности не вызывает сомнений. Автореферат диссертации правильно отражает ее содержание и полностью ему соответствует. Диссертационная работа Володкина Б.О. прошла необходимую апробацию в ходе обсуждения ее результатов на 15

международных научно-технических конференциях.

По выбранной теме, характеру проведенных исследований, полученным результатам рассматриваемая диссертация Володкина Б.О. соответствует специальности 01.04.05 – Оптика и является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития оптики терагерцового диапазона. Таким образом, диссертационная работа Володкина Б.О. удовлетворяет требованиям ВАК России, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а сам автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика.

Отзыв подготовлен:

главный научный сотрудник

Самарского филиала ФГБУН

Физического института им. П.Н. Лебедева

Российской академии наук, д.ф.-м.н.

В.Г. Волостников

Волостников Владимир Геннадьевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Самарского филиала ФГБУН Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук.

Адрес: 443011, Самара, ул. Ново-Садовая, 221

телефон: +7 (846) 3347396

эл. адрес: coherent@fian.smr.ru

Самарский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (СФ ФИАН).

Адрес: 443011, Самара, ул. Ново-Садовая, 221

телефон: +7 (846) 3341481

сайт: <http://www.fian.smr.ru>; эл. адрес: laser@fian.smr.ru

Диссертационная работа и отзыв были рассмотрены и одобрены на заседании Учёного совета Самарского филиала ФГБУН Физического института им. П.Н. Лебедева РАН (протокол №10 от 24 ноября 2017 г.)

Ученый секретарь

СФ ФИАН, д.т.н.



С.И. Яресько