

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ИАиЭ СО РАН  
академик РАН

Шалагин Анатолий Михайлович  
«10» декабря 2014 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института  
автоматики и электротехники Сибирского отделения Российской академии наук  
(ИАиЭ СО РАН)

Диссертация «Создание периодических структур фемтосекундным излучением  
внутри световодов и на поверхности металлов» выполнена в лаборатории  
волоконной оптики ИАиЭ СО РАН.

В период подготовки диссертации соискатель Достовалов Александр  
Владимирович работал в ИАиЭ СО РАН в должности младшего научного  
сотрудника.

В 2009 г. окончил Новосибирский государственный университет по  
специальности физика.

В 2012 г. окончил очную аспирантуру НГУ с представлением диссертации.  
Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов в 2014 г. ИАиЭ СО РАН.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, член-  
корреспондент РАН Бабин Сергей Алексеевич, заместитель директора по научной  
работе, заведующий лабораторией волоконной оптики ИАиЭ СО РАН.

По результатам рассмотрения диссертации «Создание периодических структур  
фемтосекундным излучением внутри световодов и на поверхности металлов» на  
межлабораторном семинаре Учебно-научного центра «Квантовая оптика» ИАиЭ  
СО РАН принято следующее заключение:

### **Актуальность работы.**

Фемтосекундные лазерные технологии, позволяющие получать сверхкороткие  
импульсы с высокой энергией, находят все большее применение в области  
лазерной обработки материалов, получившее название фемтосекундной  
микрообработки, ключевым преимуществом которой является возможность  
локального изменения показателя преломления в нефоточувствительных



прозрачных материалах. Это позволяет создавать различные оптические компоненты (преимущественно в плавленом кварце): волоконные решетки показателя преломления, планарные волноводы, ответвители. Одной из реализаций технологии создания решеток показателя преломления в волоконных световодах (ВС) с помощью фс излучения является метод поточечной лазерной записи. Однако данный метод имеет ряд недостатков, в частности, значительные нерезонансные потери и плохую воспроизводимость результатов из-за проблемы точного позиционирования области модификации внутри сердцевины ВС на всей длине решётки. Поэтому разработка технологии поточечной записи длиннопериодных волоконных решёток (ДПВР) с минимальными нерезонансными потерями и высокой воспроизводимостью результатов является актуальной задачей. Кроме того актуальной задачей является фс запись волоконных брэгговских решёток (ВБР) через полиимидное покрытие, поскольку это позволяет увеличить предел прочности ВБР на растяжение и их стойкость к высоким температурам, что расширяет спектр применения датчиков на основе ВБР. Помимо представленных выше возможностей технологии фс модификации прозрачных материалов, существует широкий класс задач, связанных с поверхностной модификацией как прозрачных, так и непрозрачных (металлы, полупроводники) материалов, где также проявляются особенности фемтосекундного взаимодействия, например, создание лазерно-индуцированных периодических поверхностных структур (ЛИПС), исследование которых являются актуальной задачей как с точки зрения исследования механизмов образования ЛИПС, так и с точки зрения их практического применения. Исходя из этого, основная цель диссертационной работы А. В. Достовалова была сформулирована как создание периодических структур высокого качества внутри световодов и на поверхности металлов методом поточечной записи фемтосекундным излучением иттербиевого лазера (как основной, так и второй гармоники). Для достижения этой цели перед А. В. Достоваловым были поставлены следующие задачи: исследовать процесс поглощения энергии фс излучения в зависимости от параметров излучения (в первую очередь от длины волны и энергии импульса) при фокусировке под поверхностью диэлектрика. Разработать технологию фемтосекундной модификации показателя преломления внутри прозрачных диэлектриков и создать структуры с периодом от 0,5 мкм до 0,5 мкм. Исследовать влияние формы области модификации на спектральные характеристики решёток показателя преломления в волоконных световодах. Исследовать характеристики волоконных решеток, записанных фемтосекундным излучением через пластиковую защитную оболочку световода, в том числе для их применений в качестве сенсоров температуры и деформации. Исследовать особенности формирования лазерно-индуцированных периодических структур на поверхности различных металлов в зависимости от параметров падающего фс излучения.

**Личное участие соискателя.**



В ходе выполнения работы основные эксперименты выполнены А. В. Достоваловым. Он принимал активное участие в постановке задач, теоретическом анализе, обсуждении результатов, а также подготовке статей. При выполнении диссертационной работы А. В. Достовалов проявил себя самостоятельным научным работником, способным проводить исследования на высоком научном уровне.

### **Новизна.**

В диссертации получены следующие новые научные результаты:

- Проведен сравнительный анализ модификации плавленого кварца на основной (1030 нм) и второй гармонике иттербиевого лазера. Моделирование показало, что поглощенная энергия для длины волны 515 нм больше, чем для 1030 нм при одинаковой энергии импульса (в диапазоне 10-100 нДж), а при большей энергии поглощение не зависит от длины волны. При этом размер области модификации меньше для 1030 нм из-за более высокой степени нелинейности. Показано, что использование импульсов с асимметричной временной формой приводит к лучшей по сравнению с симметричными импульсами локализации области поглощения в процессе фемтосекундной модификации.
- Продемонстрирована возможность записи длиннопериодных волоконных решеток в нефоточувствительных световодах фс излучением с ограниченным щелью пучком. За счет более равномерной модификации показателя преломления внутри сердцевины волокна данный метод позволяет записать длиннопериодные волоконные решетки с нерезонансными потерями  $\leq 0,2$  дБ, при этом амплитуда резонансного пика заметно выше, чем в случае записи пучком с гауссовым профилем. Также показано, что амплитуду пика длиннопериодной волоконной решетки можно увеличить посредством многократной записи ( $>18$  дБ).
- Реализована поточечная запись волоконных брэгговских решеток 2-го порядка фемтосекундным излучением с длиной волны 1026 нм через защитное пластиковое покрытие германо-силикатного волоконного световода (SMP1500-9/125-P) и волоконного световода с чисто кварцевой сердцевиной (SMP1500SC-9/125-P). Показано, что данный метод позволяет также записывать однородные и суперструктурированные волоконные брэгговские решетки 1-го порядка через защитное покрытие, в том числе полиимидное. Теоретические расчеты спектров согласуются с полученными экспериментальными результатами.
- Обнаружена зависимость поворота штрихов решеток на поверхности никеля относительно направления поляризации излучения от расстояния между треками и направления движения пучка в смежных треках. Продемонстрировано формирование двумерных периодических решеток при двойном проходе лазерного пучка по одной и той же траектории, но с небольшой разницей в направлении поляризации излучения между проходами.



- Показано, что формирование периодических структур на пленках титана при острой фокусировке фс излучения происходит различным образом и с различным качеством при движении вдоль направления поляризации излучения и в поперечном направлении. При этом в первом случае образуются высокоупорядоченные термохимические решётки, а во втором - решётки имеют неоднородную структуру со слабовыраженной периодичностью и переменным знаком изменения высоты рельефа по отношению к исходному, что может быть объяснено одновременным действием абляционного и термохимического механизмов.

#### **Степень достоверности результатов.**

Все полученные результаты не противоречат известным научным положениям, экспериментальным и теоретическим результатам других работ. Все экспериментальные результаты получены с применением современных методов исследования, а измерения проведены с помощью точных калиброванных приборов. Научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, обоснованы полученными в работе экспериментальными и теоретическими результатами.

#### **Практическая значимость.**

Представленный метод записи ДПВР в нефоточувствительных световодах ограниченным щелью фс пучком может быть применен для записи ДПВР, используемых в качестве спектральных фильтров волоконных лазеров, поскольку позволяет записывать ДПВР в нефоточувствительных световодах с минимальными нерезонансными потерями, а также сенсоров, поскольку позволяет создавать ДПВР без снятия защитной оболочки. Записанные фс ВБР могут применяться в качестве чувствительных элементов сенсорных систем с высоким пространственным разрешением с большими рабочими диапазонами как по температуре, так и по деформации в сравнении с ВБР, созданными по технологии УФ записи. Кроме того, узкополосные ВБР, записанные через защитную оболочку как пассивных, так и активных (легированных редкоземельными элементами) световодах, обладают повышенными эксплуатационными характеристиками при использовании в качестве зеркал мощных волоконных лазеров. Лазерно-индуцированные периодические структуры на поверхности металлов могут использоваться, например, для изменения смачиваемости поверхности. Таким образом, можно создавать самоочищающиеся поверхности. Термохимические ЛИПС на поверхности титана могут быть использованы для формирования металлических периодических структур с высоким аспектным отношением с применением реактивного ионного травления, например, для создания микроэлектромеханических систем (МЭМС).

#### **Соответствие специальности.**



По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 01.04.05 Оптика в части физико-математических наук.

**Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.**

Результаты диссертационной работы в полном объеме отражены в 6 опубликованных печатных работах в российских и зарубежных рецензируемых научных журналах, определенных Высшей аттестационной комиссией:

1. Dostovalov A. V., Babin S.A., Dubov M., и др. Comparative numerical study of energy deposition in femtosecond laser microfabrication with fundamental and second harmonics of Yb-doped laser // Laser Phys. - 2012. - Т. 22. - № 5 . - С. 930–936.
2. Достовалов А.В., Вольф А.А., Бабин С.А., и др. Численное исследование влияния временной формы импульса на модификацию плавленного кварца фемтосекундными импульсами // Квантовая электроника. - 2012. - Т. 42. - № 9 . - С. 799–804.
3. Достовалов А.В., Корольков В.П., Голубцов С.К., и др. Особенности формирования самоиндуцированных решеток на металлических фольгах при сканировании остросфокусированным фемтосекундным лазерным пучком // Квантовая электроника. - 2014. - Т. 44. - № 4 . - С. 330–334.
4. Достовалов А.В., Вольф А.А., Бабин С.А. Запись длиннопериодных волоконных решеток ограниченным щелью пучком фемтосекундного излучения ( $\lambda = 1026$  нм) // Квантовая электроника. – 2015 (принята к печати).
5. Достовалов А.В., Вольф А.А., Бабин С.А. Поточечная запись ВБР первого и второго порядка через полиимидное покрытие фемтосекундным излучением с длиной волны 1026 нм // Прикладная фотоника. – 2014. - № 2. - С. 235-239.
6. Dostovalov A. V., Korolkov V.P., Babin S.A. Simultaneous formation of ablative and thermochemical laser-induced periodic surface structures on Ti film at femtosecond irradiation// Laser Phys. Lett. - 2015 (принята к печати)

Диссертация “Создание периодических структур фемтосекундным излучением внутри световодов и на поверхности металлов” Достовалова Александра Владимировича рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 “Оптика”

Председатель семинара

академик РАН



Шалагин А. М.