

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Институт автоматики  
и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук  
академик А.М. Шалагин

  
« 11 » декабря 2012 г.



**ОТЧЕТ за 2012 г.**

**по проекту №43 "Синтез, исследование свойств и применений  
микроструктурированных компонентов для волоконно-оптических и микрооптических  
систем на основе модифицированных стекол и новых амплитудно-фазовых  
фоторегистрирующих сред с реверсивными свойствами»**

**Программа: Проекты партнерских фундаментальных исследований СО РАН**

Срок начала и окончания этапа проекта: 09.02.2012 – 31.12.2014.

Координатор проекта

академик А.М. Шалагин

Новосибирск, 2012

*Целью* проекта является изучение процессов формирования, исследование свойств, характеристик и применений микроструктурированных компонентов для волоконно-оптических и микрооптических систем, формируемых в новых объемных амплитудно-фазовых фоторегистрирующих сред на основе  $\beta$  – дикетонатов дифторида бора, а также в планарных и волоконных световодах на основе кварцевых стекол.

На 2012 год ставились следующие задачи:

- 1) проведение экспериментов по определению максимально возможной скорости объемной записи на новых фоторегистрирующих средах (ФРС) с помощью круговой лазерной записывающей системы CLWS-300IAE;
- 2) исследование на лазерном интерферометре динамической дисторсии волнового фронта пробного пучка He-Ne лазера, проходящего через участок ФРС на основе  $\beta$  – дикетонатов дифторида бора, облучаемого одновременно УФ лазерным пучком.
- 3) Запись волоконных брэгговских решёток с фазовыми сдвигами и исследование их сенсорных свойств.
- 4) Создание экспериментальных лазерных записывающих систем для поточечного экспонирования новых регистрирующих сред фемтосекундным лазерным излучением.

Эти задачи были решены следующим образом.

Для решения первой задачи на круговой лазерной записывающей системе CLWS-300IAE установлен УФ канал записи с полупроводниковым лазером (405 нм, 30 мВт). Диаметр записывающего пучка составляет 0.7 мкм. Для проведения записей микроструктур с помощью этой установки необходимо улучшить качество поверхности образцов допированного ПММА, нанесённого на стеклянную подложку.

На лазерном генераторе изображений, работающем в декартовой системе координат и имеющем записывающий импульсный волоконный лазер с длиной волны 355 нм установлена система автофокусировки, позволяющая удерживать плоскость фокусировки на поверхности среды с малым отражением. Диаметр пучка в фокусе 5 мкм. Проведены первые записи с применением импульсного лазера с длиной волны 355 нм для определения порога разрушения допированных пленок ПММА. Для измерения характеристик записанных бинарных фазовых структур разработан и реализован на основе волоконного спектрометра метод спектральной рефлектометрии с нулевым порядке дифракции, позволяющий измерить с высокой точностью разность фаз между группами областей бинарной фазовой решетки, записанной в ПММА. Таким

образом, подготовлена экспериментальная база для проведения исследований по записи на слоях допированного  $\beta$  – дикетонатом дифторида бора ПММА.

На следующем этапе подготовки экспериментов по записи фазовых структур необходимо было создать стенд для локальной характеристики необратимых и реверсивных изменений показателя преломления в слоях ПММА толщиной до десятков микрон. Результаты этих экспериментов должны обеспечить начальные данные для проведения численного моделирования лазерной записи динамических фазовых структур в исследуемых ФРС. На конец октября собрано и апробировано 2 варианта экспериментальных установок для исследования термооптического реверсивного эффекта: на базе интерферометра Линника МИИ-4 (рис. 1) и на базе интерферометра белого света WLI (рис. 2). В обеих установках измерение велось на отражение. Отличался угол и направление падения УФ излучения на поверхность образца. Схема измерения на микроинтерферометре МИИ-4 показана на рис.3. УФ лазерное излучение поступало к пленке ПММА через стеклянную подложку, а пробный пучок интерферометра белого света падал со стороны пленки. Для определения изменения коэффициента преломления необходимо было зафиксировать сдвиг полос интерференционной картины на обеих поверхностях пленки допированного ПММА.

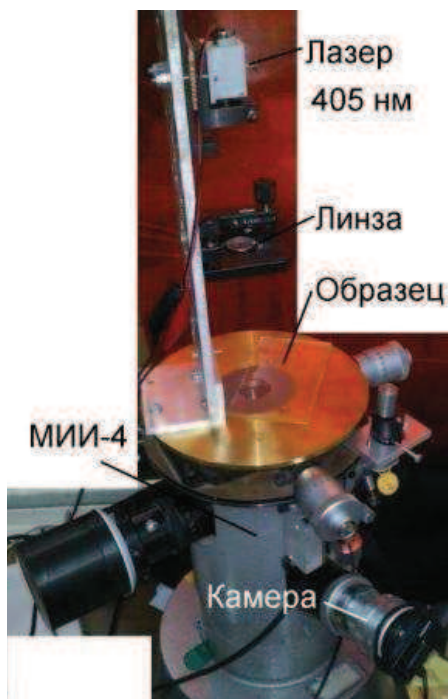


Рис. 1. Измерительный стенд на базе МИИ-4.

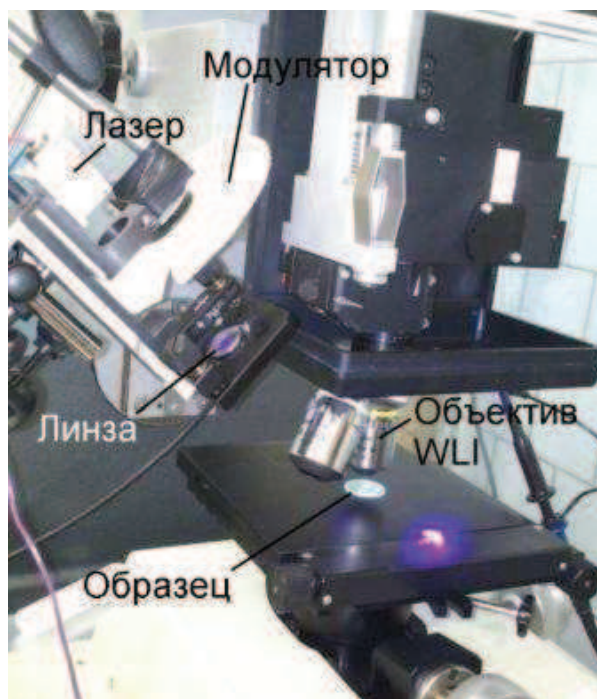


Рис.2. Измерительный стенд на базе WLI.

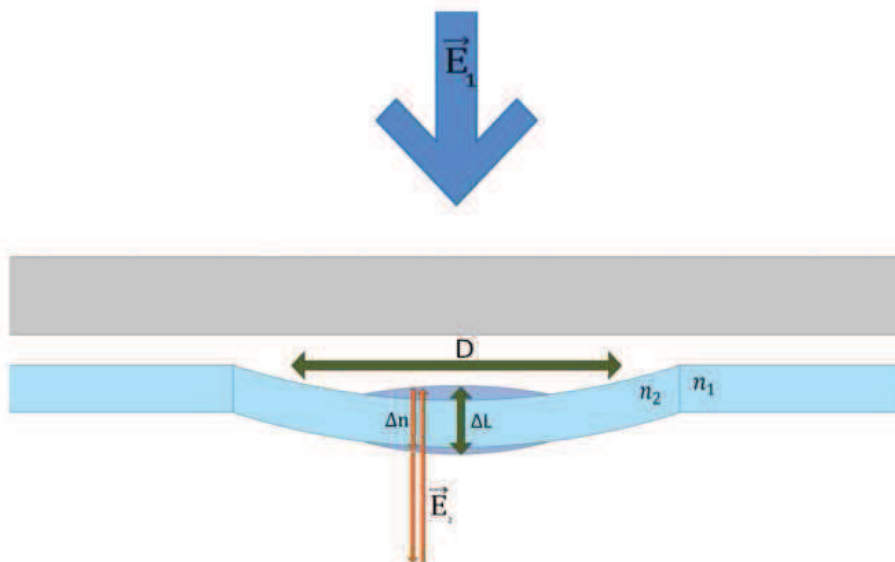


Рис.3. Схема измерения на МИИ-4.

Проведены измерения на образцах подготовленных в ИХ ДВО РАН. Образцы представляли собой пленки допированного ПММА на стеклянных подложках. Термооптический эффект под действием излучения УФ лазера удалось на них обнаружить, но в силу очень малого контраста интерференционной картины от внутренней границы раздела ПММА-стекло провести количественные измерения, однозначно разделяющие тепловое расширение материала и падение коэффициента преломления при нагреве не удалось. Для увеличения коэффициента отражения ПММА-стекло необходимо было увеличить разницу коэффициентов отражения, либо использовать свободновисящие пленки ПММА в некотором удалении от стеклянной подложки. К сожалению, в последнем случае, обеспечивающем одинаковый контраст полос от обеих поверхностей пленки, движение всей пленки как целого из-за температурного расширения вдоль поверхности и ее выгибании при нагреве лазерным пучком превосходит измеряемый эффект.

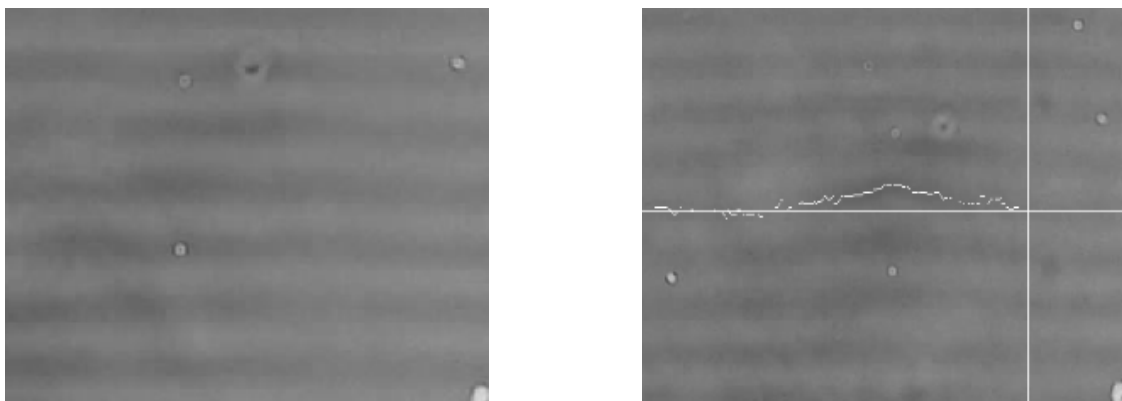


Рис. 4. Фотография интерференционной картины от интерфейса стекло-ПММА с использованием фильтра подавляющего длину волны УФ лазера. Слева - лазер

выключен, справа - включён. Сдвиг полос – до  $\lambda/4$ .

Следующая группа экспериментов была выполнена на ПММА, нанесенном на сапфировые подложки. Однако контраст интерференционных полос поднялся незначительно, так как разница коэффициентов преломления была около 0.18. При этом также возникла проблема дефицита мощности УФ излучения, так как теплопроводность сапфира на порядок выше, чем у стекла. В результате индуцировать термооптические изменения на этих образцах не удалось, хотя на том же образце на участке с нарушенной адгезией эффект наблюдался. Такое поведение полностью подтверждает гипотезу о термооптическом характере реверсивных светоиндуцированных изменений коэффициента преломления ПММА, допированного  $\beta$  – дикетонатом дифторида бора. Эта гипотеза была высказана в публикации партнеров по проекту из ИАПУ ДВО РАН.

Кроме экспериментов по количественной калибровке термооптического эффекта была предпринята попытка выяснения природы этого эффекта путем измерения спектров комбинационного рассеяния облученного и необлученного ПММА, допированного  $\beta$  – дикетонатом дифторида бора. Измерения спектра КРС проводились при воздействии на образец излучения твердотельного лазера с длиной волны 532 нм. Измеренные спектры на разных участках показаны на рис. 4 а и б. Из-за сильной люминесценции хелата бора, индуцированной лазерным излучением, на спектрах практически неразличимы характерные линии, соответствующие молекулярным связям ПММА и его растворителя, некоторая часть которого всегда остается после высыхания. Для сравнения на рис. 4 б показан спектр не допированного ПММА. На следующем этапе выполнения проекта предполагается повторить эти эксперименты на новом КРС спектрометре, работающем с лазером на длине волны 1060 нм. Такая длина волны полностью исключит люминесценцию изучаемого материал.

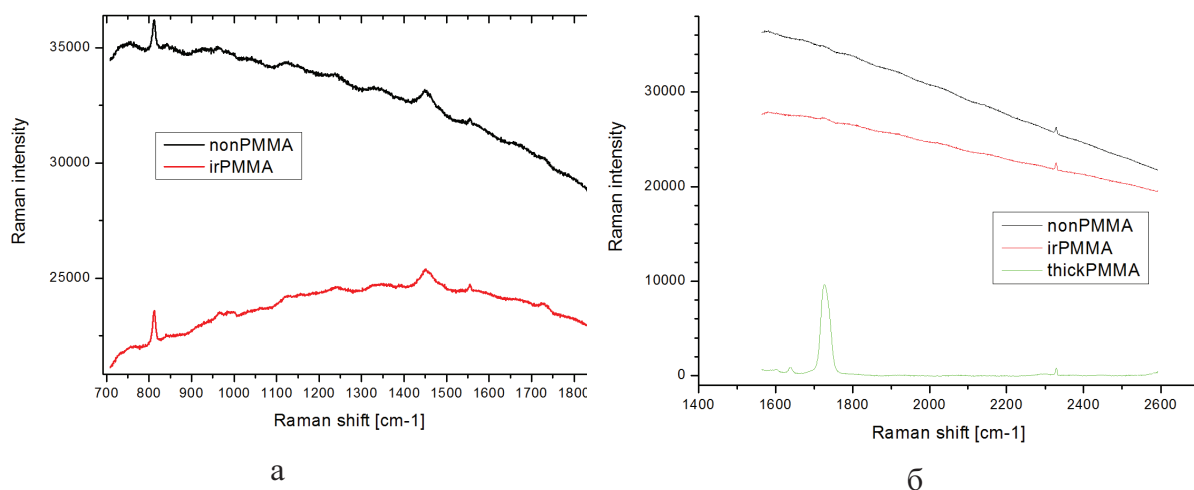


Рис. 4. Спектры КРС допированного ПММА.

Совместно с ИАПУ ДВО РАН испытан макет дифференциально-рефлектометрической волоконно-оптической измерительной системы на основе волоконных брэгговских решеток с применением комбинированного спектрально-временного мультиплексирования измерительных каналов, для которого записаны линии с набором волоконных брэгговских решёток с заданными свойствами. Рассмотрена возможность аподизации волоконных брэгговских решеток (ВБР) за счёт поперечного сдвига фазовой маски в схеме записи с фазовой маской и гауссовым пучком. Проведено численное моделирование спектров отражения ВБР для различных параметров записывающего пучка и расстояния между осями интерферирующих дифракционных порядков, изменяемого за счёт поперечного сдвига фазовой маски относительно волоконного световода. Экспериментально продемонстрировано подавление боковых резонансов и сглаживание спектра ВБР при увеличении поперечного сдвига фазовой маски, Рис. 5. Показано, что эффект обусловлен выравниванием среднего значения наведенного показателя преломления в области ВБР.

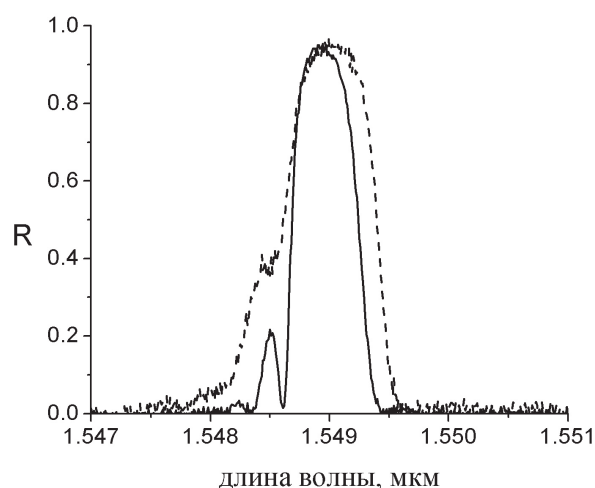


Рис.5. Экспериментальные спектры ВБР, записанных без сдвига фазовой маски (сплошная линия) и со сдвигом, соответствующим параметру  $dz \sim 0.2w$  (пунктирная линия).

Записаны образцы длинных ( $\sim 10$  см) волоконных брэгговских решёток в активных (легированных иттербием) одномодовых и двулучепреломляющих (с сохранением поляризации) волокнах со регулярной и случайной фазой и амплитудой. Измерены спектры отражения и пропускания таких случайных волоконных брэгговских решёток.

Создана экспериментальная установка для поточечного экспонирования новых регистрирующих сред фемтосекундным лазерным излучением. Исследована возможность наноструктурирования поверхности металлических пленок фемтосекундным излучением и объемной модификации показателя преломления прозрачных материалов.

Предложена и исследована новая схема сверхдлинного рамановского лазера с распределённым усилением, имеющего потенциал для использования в качестве коммуникационной среды в волоконно-оптических линиях связи и сенсорных системах. Проведённый численный анализ показал возможность экономии энергии в такой системе свыше 50% при сохранении высокого качества передачи сигнала. Было продемонстрировано, что данная схема рамановского усилителя может быть применена для повышения энергоэффективности в современных линиях связи. Основная идея, представленная в работе, имеет достаточно общий характер и может быть применена к широкому ряду лазерных систем с рамановским усилением. Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 6.

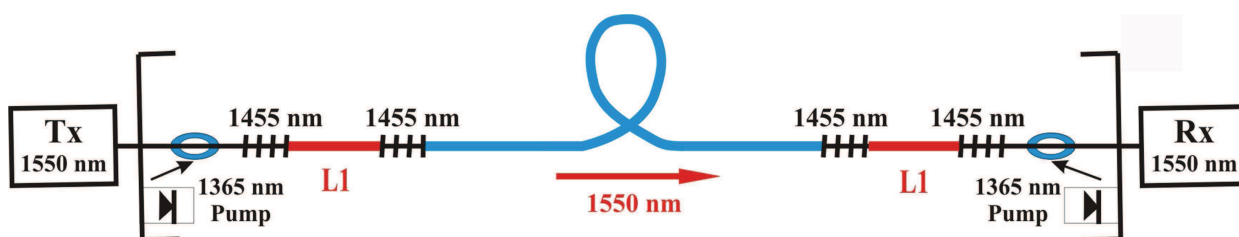


Рисунок 6. Схематическое представление лазерной системы.

На рисунке 6 (слева) изображены линии уровня мощности накачки, необходимой для распространения сигнала без потерь в световоде длиной 200 km, в плоскости оптимизационных параметров, описанных выше. Зависимость отношения сигнал/шум от расположения внутрирезонаторных решёток и коэффициента отражения решёток приведена на рисунке 7 (в центре). В зависимости от технических требований к системе полученные численные результаты могут быть использованы как для уменьшения мощности накачки при фиксированном отношении сигнал/шум, так и для контроля шумовых характеристик системы при фиксированной мощности накачки. Область, выделенная голубым цветом на рисунке 6 (справа), обозначает некоторый компромисс между энергосбережением и качеством передачи сигнала в системе. Как можно видеть из рисунка 7 (справа), уменьшение мощности накачки в усилителе длиной 200 km может составлять более 40 %, при сохранении отношения сигнал/шум на уровне выше 25 dB. Например, возможно уменьшение мощности накачки до 737 mW с сохранением отношения сигнал/шум на уровне 28.5 dB при значениях оптимизационных параметров, равных  $L1 = 1$  km,  $RL = RR = 85\%$ . В схеме без внутрирезонаторных решёток мощность накачки равна 1.42 W и отношение сигнал/шум равно 30.6 dB.

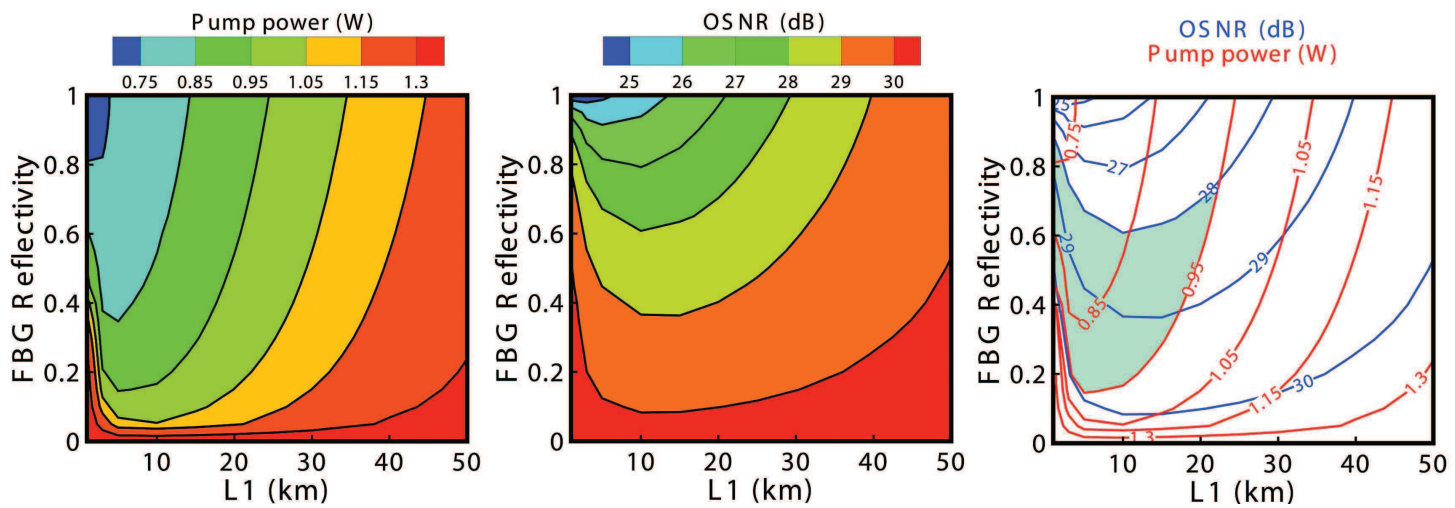


Рисунок 7 (Слева) Линии уровня мощности накачки в плоскости оптимизационных параметров. (В центре) Линии уровня отношения сигнал-шум в плоскости оптимизационных параметров. (Справа) Изолинии мощности накачки и отношения сигнал-шум в плоскости оптимизационных параметров.



## Список публикаций

1. В.П.Корольков., А.С.Конченко, “Спектрофотометрический метод измерения глубины отражательных калибровочных решеток,” *Автометрия*, 48, N2, стр. 119-127.
2. А.Г. Полещук, А.Р. Саметов, А.Г. Седухин. Многопучковая прямая лазерная запись дифракционных микроструктур//*Автометрия*, 2012, Т.48, №4, с. 3-11.
3. В.П.Вейко, Д.А. Синев, Е.А.Шахно, А.Г. Полещук, А.Р. Саметов, А.Г. Седухин, Исследование особенностей многопучковой лазерной термохимической записи дифракционных микроструктур. *Компьютерная оптика*, 2012, №4 (в печати).
4. В. П. Корольков, А. С. Конченко. Применение волоконного спектрофотометрического блока CHR-150 для измерения глубины рельефа бинарных фазовых синтезированных голограмм. VIII научный конгресс «Интерэкспо ГЕО-СИБИРЬ-2012», 17-19 апреля 2012. Сборник материалов. Т.2, 33-37.
5. V.P.Korolkov, A.S.Konchenko, A.G.Poleshchuk, Application of fiber spectrometers for etch depth measurement of binary computer-generated holograms, *Proceedings of International conference ISPEMI 2012, 8-11 August 2012, Chengdu, China.* (в печати)
6. С.Р. Абдуллина, И.Н. Немов, С.А. Бабин, "Метод подавления боковых резонансов в спектре волоконных брэгговских решёток за счёт поперечного сдвига фазовой маски относительно волоконного световода", *Квант. электроника*, 2012, **42** (9), 794–798.
7. С.Р. Абдуллина, И. Н. Немов, С. А. Бабин. Метод подавления боковых резонансов в спектре волоконных брэгговских решеток за счет поперечного сдвига волокна относительно фазовой маски. // *Материалы Российского семинара по волоконным лазерам 2012 (Новосибирск, 27-30 марта 2012 г.), ИАиЭ СО РАН, 2012, с.136-137.*
8. A.V. Dostovalov, S.A.Babin, V.P. Korolkov, R.V.Samsonov, E.F. Reznikova, B.G. Goldenberg. Localized femtosecond laser nanostructuring of LIGA Master-forms. 15th International Conference on Laser Optics (St.-Petersburg, June 25-29, 2012), *Tech. Program, paper ThR5-38, p.49.*
9. А. В. Достовалов, С. А. Бабин, А. А. Вольф, В. К. Мезенцев. Численное исследование влияния временной асимметрии импульса на фемтосекундную модификацию плавленого кварца. // *Материалы Российского семинара по*

волоконным лазерам 2012 (Новосибирск, 27-30 марта 2012 г.), ИАиЭ СО РАН, 2012, с.139-140.

10. Bednyakova A.E., Fedoruk M.P. Spatially cascaded cavities for power saving distributed Raman amplification. *Optics Communications* (принята в печать).
11. A. Bednyakova, O. Gorbunov, M. Politko, S. I. Kablukov, S. V. Smirnov, D. V. Churkin, M. Fedoruk, S. K. Turitsyn, S. A. Babin, «Experimental measurement and numerical modelling of narrow-bandwidth Yb-doped fiber laser spectrum and time dynamics», Proc. of the 17th Annual Symposium of the IEEE/LEOS Benelux Chapter, (November 29-30, 2012, Mons, Belgium), Tech. digest, 2102 (4 pages).