

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук

Сметанина Сергей Николаевича

на диссертацию Корибута Андрея Валериевича

«Фазовая самомодуляция и вынужденное комбинационное рассеяние в кристалле вольфрамата бария и плавленном кварце», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – Лазерная физика.

Диссертационная работа Корибута Андрея Валериевича посвящена исследованию физических факторов, ответственных за высокую эффективность вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) сфокусированных субпикосекундных импульсов лазерного излучения в кристалле вольфрамата бария при значительном уширении спектра импульса из-за эффекта фазовой самомодуляции (ФСМ).

Преобразование частоты излучения наносекундных и пикосекундных лазерных систем путем ВКР широко используется в решении множества научных и прикладных задач. Чаще используется стационарный режим взаимодействия, при котором достижимо ВКР-преобразование с высокой энергетической эффективностью, приближающейся к квантовому пределу. Однако, когда длительность импульса является ультракороткой и сопоставимой со временем дефазировки колебаний ВКР-среды, то процесс ВКР происходит в нестационарном режиме с существенно меньшей эффективностью из-за уменьшения ВКР-усиления. Увеличение ВКР-усиления за счет увеличения длины взаимодействия ограничено длиной рассогласования групповых скоростей, а увеличение интенсивности накачки приводит к конкуренции ВКР с другими нелинейными эффектами, которые в основном негативно сказываются на эффективности ВКР-преобразования. На фоне известных научных результатов, позволяющих увеличить эффективность ВКР-преобразования ультракоротких импульсов излучения, выделяется эксперимент по ВКР субпикосекундных импульсов в кристалле вольфрамата бария в простой однопроходной схеме с необычно высокой (~20%) эффективностью преобразования субпикосекундных импульсов. Настоящая диссертационная работа направлена на исследование физических процессов и факторов, приводящих к наблюдаемому эффекту.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Полный объем диссертации составляет 102 страницы, включая 43 рисунка и 1 таблицу. Список литературы содержит 99 наименований.

Во Введении автор обосновывает актуальность, научную новизну, научную и практическую значимость работы, достоверность полученных результатов, формулирует защищаемые положения и свой личный вклад.

Глава 1 является обзорной и представляет собой анализ литературных данных по тематике исследования. Описаны эффекты, связанные с распространением ультракоротких импульсов в среде. Приведен обзор работ по ВКР фемтосекундных импульсов и связанные сложности с получением высокой эффективности преобразования: нестационарность режима, дисперсия среды, соперничество с другими нелинейными эффектами. Отдельно

выделена работа по ВКР субпикосекундных импульсов в кристалле вольфрамата бария с аномально высокой эффективностью.

Глава 2 посвящена описанию лазерной установки, регистрирующему оборудованию и характеристик кристалла вольфрамата бария, как на основе литературного обзора, так и для исследуемого образца.

В Главе 3 приведены результаты исследования уширения спектра в образце плавленого кварца (как эталонного материала) при около критической мощности самофокусировки. Экспериментально и с помощью численной модели, основанной на матричной оптике, показано, что в режиме филаментации уширение спектра импульса от энергии имеет близкую к линейной зависимость, что позволяет определять значение нелинейного показателя преломления в данном режиме.

Глава 4 содержит результаты исследования уширения спектра импульсов в кристалле вольфрамата бария. Важной особенностью является доминирование уширения в стоксовую область по сравнению с антистоксовой, что не характерно для твердых тел. Отмечено, что данный эффект не связан с кросс-модуляцией импульса накачки и рассеянного импульса, а связан с доминированием «медленной» кубической нелинейности с субпикосекундным временем отклика.

В первой части Главы 5 приведены результаты исследования взаимного влияния эффектов ФСМ и ВКР. Показано, что ФСМ формирует затравочное излучение со сдвигом соответствующим модам КР кристалла вольфрамата бария 330 см^{-1} и 925 см^{-1} , которое затем эффективно усиливается за счет эффекта ВКР. Отмечено, что «медленная» кубическая нелинейность создает благоприятные условия для такого усиления в силу того, что положение, при котором достигается максимальный сдвиг в стоксовую область, смещается в сторону центральной части импульса по времени.

Во второй части Главы 5 приведены результаты по исследованию влияния параметров фокусировки и самофокусировки на эффективность преобразования. В работе получено, что для кристалла толщиной 8 мм максимальная эффективность достигается при фокусировке линзой с фокусным расстоянием 40 мм и смещению линейного фокуса в сторону задней грани на 1,8 мм от центра, что связано с увеличением эффективной длины взаимодействия определяемую как расстояние между линейным и нелинейным фокусами.

В заключении приведены основные результаты работы.

По тексту диссертационной работы имеются следующие замечания:

1. В главе 2 в комментарии к формуле (2.2) написано, что значения радиуса сфокусированного пучка w_0 измерялись по размеру кратера разрушения, как результат эксперимента по лазерному разрушению, хотя выше по тексту значения w_0 указаны как предварительно измеренные.
2. В главе 3 не обоснован выбор фокусного расстояния линзы (40 мм) для исследования явлений, связанных с нелинейным показателем преломления, хотя в главе 1 представлена подходящая для этого теория.
3. В главе 4 обсуждается появление “ступенек” замедления роста стоксовой ширины спектра выходного излучения в зависимости от энергии импульса накачки, которое

было связано с появлением ВКР-компонент на фоне фазовой самомодуляции излучения накачки, но не представлено попытки объяснения этого замедления. Не стоило ли здесь обсудить фазовую кросс-модуляцию ВКР-излучения?

4. В главе 5 указано, что последовательность появления ВКР-компонент определяется величиной частотного сдвига, чему способствует затравка за счет ФСМ. Стоило бы обсудить и другие возможные факторы (дисперсионное разбегание, интегральное сечение комбинационного рассеяния света и др.), которые тоже могут быть в пользу ВКР с низкочастотным сдвигом.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки работы. Тема диссертации является актуальной. Научные положения и выводы диссертации научно обоснованы. Результаты диссертации обладают практической значимостью, научной новизной, прошли апробацию на всероссийских и международных конференциях и семинарах, представлены в опубликованных трудах автора. Достоверность результатов подтверждается использованием сертифицированного оборудования, их воспроизводимостью, и согласованностью с теоретическими расчетами и моделированием.

Диссертация Корибута Андрея Валериевича «Фазовая самомодуляция и вынужденное комбинационное рассеяние в кристалле вольфрамата бария и плавленом кварце» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Корибут Андрей Валериевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – Лазерная физика.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук, Сметанин Сергей Николаевич,
старший научный сотрудник Отдела лазерных материалов и фотоники Научного центра
лазерных материалов и технологий Института общей физики им. А. М. Прохорова РАН.

Адрес: 119991, г. Москва, ул. Вавилова 38.

Телефон: +7(910)1867678

e-mail: ssmetanin@bk.ru

/Сметанин Сергей Николаевич/
« 19 » марта 2025 г.

Список основных работ официального оппонента Сметанина Сергея Николаевича по тематике диссертации Корибута Андрея Валериевича «Фазовая самомодуляция и вынужденной комбинационное рассеяние в кристалле вольфрамата бария и плавленом кварце» в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Kochukov, Yu. A., Gubina, K. A., Tereshchenko, D. P., **Smetanin, S. N.**, Papashvili, A. G., Chizhov, P. A., Ushakov, A. A., Shukshin, V. E., Dunaeva, E. E., Voronina, I. S., Ivleva, L. I. (2024). Multiwavelength highly transient stimulated Raman scattering on dual Raman modes in $\text{Sr}(\text{MoO}_4)_{0.8}(\text{WO}_4)_{0.2}$ and $\text{Sr}(\text{MoO}_4)_{0.4}(\text{WO}_4)_{0.6}$. *Optics Letters*, 49(19), 5575-5578.
2. Kochukov, Yu. A., Tereshchenko, D. P., **Smetanin, S. N.**, Papashvili, A. G., Gubina, K. A., Bulgakova, V. V., Ushakov, A. A., Shukshin, V. E., Dunaeva, E. E., Voronina, I. S., Ivleva, L. I. (2024). Highly transient stimulated Raman scattering in SrMoO_4 under ultrafast double-pulse laser pumping. *Physics of Wave Phenomena*, 32(5), 336-344.
3. Papashvili, A. G., Kochukov, Y. A., Tereshchenko, D. P., **Smetanin, S. N.**, Kharitonova, P. D., Shukshin, V. E., Dunaeva, E. E., Voronina, I. S., Ivleva, L. I. (2023). Highly transient stimulated Raman scattering in SrMoO_4 under ultrafast laser pumping with a controllable chirp. *Optics Letters*, 48(17), 4528-4531.
4. Frank, M., **Smetanin, S. N.**, Jelínek, M., Vyhlídal, D., Kosmyna, M. B., Shekhovstov, A. N., Gubina, K. A., Shukshin, V. E., Zverev, P. G., Kubeček, V. (2022). Stimulated Raman Scattering in $\text{Pb}(\text{MoO}_4)_{1-x}(\text{WO}_4)_x$ with $x=0, 0.5, 0.8$ and 1.0 with Combined Frequency Shifts on High-and Low-Frequency Raman Modes under Synchronous Picosecond Laser Pumping. *Crystals*, 12(2), 148.
5. Voronina, I. S., Dunaeva, E. E., Voronov, V. V., Shukshin, V. E., **Smetanin, S. N.**, Ivleva, L. I. (2021). Growth and characterization of $(\text{Ca}_{1-x}\text{Sr}_x)_3(\text{VO}_4)_2$ solid solutions: A search for the new materials for ultrafast Raman lasers. *Optical Materials*, 111, 110642.
6. Frank, M., **Smetanin, S. N.**, Jelínek, M., Vyhlídal, D., Shukshin, V. E., Zverev, P. G., Kubeček, V. (2020). Highly efficient, high-energy, picosecond, synchronously pumped Raman laser at 1171 and 1217 nm based on PbMoO_4 crystals with single and combined Raman shifts. *Optics Express*, 28(26), 39944-39955.
7. **Smetanin, S. N.**, Jelínek, M., Tereshchenko, D. P., Ershkov, M. N., & Kubeček, V. (2021). Laser pulse shortening via zero-dispersion phase matching of parametric Raman interactions in crystals. *Crystals*, 11(1), 19.
8. Frank, M., **Smetanin, S. N.**, Jelínek, M., Vyhlídal, D., Ivleva, L. I., Dunaeva, E. E., Voronina, I. S., Tereshchenko, D. P., Shukshin, V. E., Zverev, P. G., Kubeček, V. (2020). Stimulated Raman scattering in yttrium, gadolinium, and calcium orthovanadate crystals with single and combined frequency shifts under synchronous picosecond pumping for sub-picosecond or multi-wavelength generation around $1.2 \mu\text{m}$. *Crystals*, 10(10), 871.