

## ОТЗЫВ

официального оппонента Венедиктова Владимира Юрьевича на диссертацию Палашова Олега Валентиновича «Подавление термонаведенных эффектов в оптических элементах твердотельных лазеров», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.19 – Лазерная физика

**Актуальность избранной темы** диссертации определяется задачами мощных и сверхмощных твердотельных лазерных систем. Решение этой задачи всегда, на всех этапах развития лазерной техники, было ключевым из-за высокого тепловыделения в активных элементах лазерных систем и других твердотельных оптических элементах. В настоящее время в технологических лазерах и некоторых других системах эта проблема более или менее решена за счет применения волоконных лазеров, но, как убедительно показано в диссертации, не все задачи лазерной техники могут быть решены указанным классом лазеров. Особенно это относится к системам со сверхкороткими (фемтосекундными) импульсами, где наблюдается как очень высокая пиковая мощность, так и высокая средняя мощность. Представленная к защите диссертация несомненно является важным вкладом в решение указанной проблемы на ее современном этапе применительно к лазерам с т.н. «трехмерными» (то есть не волоконными) оптическими элементами. Актуальность работы дополнительно подчеркивается очевидной востребованностью результатов автора, что нашло свое выражение в его самом непосредственном участии в одном из самых ярких достижений мировой науки последних лет – создании и запуске гравитационного телескопа LIGO.

**Содержание работы и ее завершенность.** Диссертация представляет собой систематическое и законченное исследование обозначенного круга проблем. В ее начале проанализированы возможные геометрии оптимального построения лазерных комплексов и возможные подходы к снижению влияния термонаведенных эффектов как в активных лазерных элементах, так и в другом термонапряженном элементе таких систем – элементах с искусственной (фарадеевской) оптической активностью, входящих в непременно используемые в мощных твердотельных лазерах т.н. вентили или изоляторы Фарадея. Показано, что такие подходы делятся на две группы – подходы, основанные на выборе правильной геометрии лазерных активных элементов и за счет применения различного рода корректоров и компенсаторов термонаведенных искажений. Диссертация состоит из Введения, четырех глав и Заключения.

В **первой главе** приводятся результаты систематического и унифицированного описания и исследования термооптических параметров и свойств основных современных и перспективных лазерных активных элементов на основе различных кристаллов, стекол и керамик, а также основных современных и перспективных магнитооптических сред.

**Вторая глава** диссертации продолжает тему первой, но если в первой главе все параметры и процессы изучались при комнатной температуре, то во второй проводится их исследование при криогенных температурах. Следует отметить, что только в самое последнее время уровень развития криогенной техники позволил перейти от использования охлаждения только в ключевых узлах лазерных систем к его тотальному использованию вдоль всего оптического тракта. Следует отметить, что если в первой главе автор использовал как свои результаты, так и сопоставление с публикациями других авторов, то результаты второй главы являются в значительной степени пионерскими и абсолютно оригинальными, что особенно повышает их значимость.

**Третья глава** диссертации посвящена «геометрическому» подходу к снижению влияния тепловых искажений. В основном эти подходы основаны на использовании правильной ориентации кристаллических оптических элементов. Автор грамотно сочетает ставшие уже классическими приемы, связанные с использованием анизотропии механических, деформационных и теплопроводящих свойств различных кристаллов и собственные пионерские исследования, в т.ч. указанные выше. На этой основе им предложен ряд перспективных конкретных решений. Очень интересна и нетривиальна перспективная схема вентиля Фарадея, основанная на использовании эффекта Фарадея в анизотропном кристалле. Еще одним «геометрическим» подходом к решению задачи уменьшения тепловых искажений является использование т.н. «активного зеркала», которое также рассмотрено в данной главе.

Заключительная, **четвертая глава** диссертации рассматривает различные схемы коррекции и компенсации наведенных искажений. Этот подход является классическим, но и в данном направлении автору удалось внести существенный оригинальный и новаторский вклад. Особо хочется отметить оригинальную схему одновременной компенсации двух термонаведенных искажений – тепловой линзы и термонаведенной деполяризации. Здесь же приводятся некоторые конкретные реализованные разработки автора, в т.ч. уже упоминавшийся вакуумный изолятор Фарадея для датчика гравитационных волн LIGO.

К достоинству диссертации следует отнести завершенность решения поставленных в ней задач. Так, например, основные результаты исследования термооптических параметров различных кристаллов и керамик представлены в систематизированном и унифицированном виде, в т.ч. в виде сравнительных таблиц и графиков. То же можно сказать и о схемотехнических решениях, представленных во второй половине диссертации.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.** Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, получены на основе апробированных методов математического и физического моделирования. Защищаемые положения очевидным образом вытекают из представленных в графическом виде результатов исследования, позволяющих оценить точность предложенных формулировок. Основные выводы и рекомендации диссертации базируются на обширных экспериментальных данных, представленных преимущественно в нормированных величинах, что достаточно легко позволяет оценить влияние исследуемых физических эффектов и параметров задачи на анализируемые характеристики.

**Достоверность** полученных в диссертации результатов главным образом обеспечивается строгой постановкой задач на основе использования ранее

апробированных методов экспериментальной и теоретической физики. Результаты находятся в хорошем соответствии с результатами других авторов и с современными воззрениями оптики и лазерной физики, а также тепловой физики. Они прошли широкую апробацию в журналах высокого уровня и на представительных научных конференциях. Правильность и достоверность результатов также подтверждается и тем, что они послужили основой ряда реализованных и апробированных практикой инженерных узлов.

**Научная новизна** работы заключается в том, что в ней реализован комплексный подход к теме подавления термоиндуцированных эффектов в твердотельных лазерах с высокой средней мощностью, который включает в себя все основные направления исследований, такие как поиск новых и диагностика свойств лазерных материалов и их поведения при охлаждении (вплоть до температуры жидкого азота); в зависимости от ориентации (в случае кристаллов) кристаллографических осей и геометрии лазерных элементов и теплоотводов; а также разработка различных методов компенсации термически индуцированных эффектов. На наш взгляд, особую значимость имеют следующие результаты:

1. Как уже говорилось, в работе проведено систематическое и унифицированное исследование термооптических параметров различных лазерных и магнитооптических сред при комнатной и криогенной температуре.
2. Предложен ряд оригинальных и новаторских схем устранения влияния термонаведенных искажений как за счет правильной ориентации термонагруженных элементов, так и использования весьма изящных компенсационных схем.
3. Реализация и апробация реальных усилителей и вентилях Фарадея, что обеспечило прорывные исследования в области создания лазерных и интерференционных установок.

**Практическая значимость** работы определяется наличием в ней выводов и рекомендаций, позволяющих определять структуру и оптимальные характеристики разрабатываемых систем. Диссертация также может служить важным источником справочной информации по исследованным средам, а также может рассматриваться как, по сути дела, методическая рекомендация для будущих исследователей и разработчиков новых лазерных и магнитооптических сред, а также и других термонагруженных элементов. Как уже отмечалось выше, результаты работы являются не только работой на перспективу, но и уже нашли конкретное воплощение в реальных узлах важнейших лазерных установок.

**Замечания:**

1. В защищаемом положении №2 второе предложение («Метод может быть использован в активных элементах лазера для подавления термонаведенных искажений.») относится скорее к разделу «Практическая значимость».
2. В защищаемом положении №5 не совсем понятен смысл грамматической конструкции «В изоляторах Фарадея вклад температурной зависимости постоянной Верде  $V(T)$  в термодеполяризацию может быть доминирующим, значительно превышающим вклад фотоупругого эффекта при использовании охлаждения, либо дисковой геометрии, либо термооптических свойств магнитооптического элемента.».
3. В разделе «Методология и методика...» не очень понятно где, собственно, методология.
4. На стр.8. сказано «Существуют различные методы ослабления термонаведенных эффектов, которые можно разделить на два физически разных направления: либо за счет уменьшения количества выделяемого в лазерном элементе тепла, либо за счет

уменьшения его влияния.» Формулировка «уменьшение влияния» представляется не вполне корректной, так как на самом деле речь идет о компенсации этого влияния.

5. Некоторые моменты, которые в диссертации следовало бы отразить, требуют дополнительных пояснений. Так, на стр.54-55 говорится о реализации эффекта Фарадея в анизотропном кристалле. Эту нетривиальную схему также следовало бы осветить хотя бы кратко. Кстати, словосочетание «коноскопическая картина» вовсе не обязательно брать в кавычки.

6. Некоторые узкоспециальные термины и аббревиатуры используются в диссертации без объяснений. Это, в частности, относится к терминам «магнитооптическая добротность» и «параметр оптической анизотропии», а также к многочисленным аббревиатурам, обозначающим различные виды кристаллов. Автор постоянно пользуется понятием и термином «степень деполяризации», хотя общепринятым понятием является «степень поляризации».

7. Диссертация написана хорошим и грамотным научным языком, но и в ней есть отдельные опечатки и стилистические погрешности.

### Заключение.

Диссертация О.В.Палашова «Подавление термонаведенных эффектов в оптических элементах твердотельных лазеров» является законченным научно-квалификационным исследованием, в котором получены новые научные результаты, совокупность которых можно квалифицировать как новое крупное научное достижение в области лазерной физики и техники, позволившее решить ряд задач, которые раньше не могли быть решены известными методами.

Диссертация О.В.Палашова удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, удовлетворяет критериям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года №842, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.19 – Лазерная физика.

Профессор кафедры Лазерных измерительных и навигационных систем (ЛИНС),

доктор физико-математических наук по специальности 01.04.05 - оптика, профессор

Венедиктов  
Владимир Юрьевич

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»,

197376, г. Санкт-Петербург, улица Профессора Попова, дом 5.

Тел +7 (921)9421846

vlad.venediktov@mail.ru

Подпись В.Ю. Венедиктова заверяю

