

Термонаведенная деполяризация в активных элементах твердотельных лазеров

Сполохов Данила Рудольфович
11 класс, МБОУ Лицей № 40 Нижнего Новгорода, Научное
объединение «Школа юного исследователя» АНО ДО
«Академ клуб», ИПФ РАН
Научный руководитель И.А. Шайкин, младший научный
сотрудник ИПФ РАН



При неравномерном нагреве активного элемента твердотельного лазера происходит деполяризация излучения. Была подробно изучена термонаведенная деполяризация в активном элементе твердотельного лазера при нагревании по образующей активного элемента. Выбранный метод - измерение профиля лазерного импульса и обработка данных в MatLab. Материал для экспериментов - стекло легированное неодимом. Деполяризация возникает при больших градиентах температур и достигает максимума, когда набег фазы на образующей при остывании составляет π . Теоретически описано и экспериментально доказано, что набег фазы складывается из набегов фаз из нескольких элементов. Теоретически рассмотрен и экспериментально проверен метод компенсации деполяризации с помощью вращателя плоскости поляризации. Рассмотрен и описан эффект, возникающий в дальней зоне при нагревании и остывании активного элемента. Данные, полученные в ходе экспериментов, можно использовать для предсказания того, что будет происходить с поляризацией в лазерных системах, работающих как непрерывно, так и импульсно.

Опыт разработок и эксплуатации систем показывает, что достижение высоких характеристик невозможно без учёта в конструкции лазеров и при управлении режимами их работы различных эффектов обусловленных нагревом элементов лазера. Существует много изменяющихся с температурой характеристик и возникающих явлений. Термонаведенная деполяризация является одним из основных явлений, ограничивающих среднюю мощность непрерывных лазерных систем и частоту следования импульсов импульсно-периодических систем. Проблема заключается в том, что термонаведенная деполяризация может значительно уменьшить максимальный КПД лазера, качество лазерного пучка и эффективность его использования. Данные параметры могут повлиять на результаты экспериментов.

Целью работы является теоретическое изучение и экспериментальное исследование явления термонаведённой деполяризации в активной среде при изменении температуры активной среды подобно тому, как это происходит в лазерных системах, и проверка метода компенсации деполяризации с помощью вращателя плоскости поляризации (ВПП).

Метод: измерение поперечного распределения интенсивности в пучке при нагревании активного элемента по образующей с помощью проволоки, подключённой к источнику тока, при различных мощностях нагрева. Обработка данных с помощью написанных программ в среде MatLab.

В случае цилиндрической симметрии собственные оси термонаведённого двулучепреломления в каждой точке оптического элемента направлены радиально \vec{x}_1 и тангенциально \vec{y}_1 . При нагреве элемента по образующей из-за неравномерного нагрева внешние слои нагреваются больше, чем внутренние, и получается, что внешние слои расширяются, а внутренние их сжимают обратно. Из-за этого явления растут механические напряжения в структуре вещества. Данные напряжения изменяют структуру элемента таким образом, что у него появляется двулучепреломление, то есть для каждой поляризации появляется свой коэффициент преломления, который определяет скорость распространения волны. Для одной поляризации появляется смещение её по фазе относительно другой. В данном случае важна именно разность фаз. От разности фаз зависит поляризация. Если $\Delta\varphi=\pi$, то поляризация поворачивается относительно исходной на $\pi/2$. Если $\Delta\varphi=2\pi$, то поляризация поворачивается на π , то есть переходит в исходную поляризацию. Из этого можем сказать, что ортогональная поляризация появляется в том случае, когда $\Delta\varphi\neq 2\pi$ при прохождении всей длины элемента.

В качестве характеристики деполяризованного излучения мы используем локальную степень деполяризации $\Gamma(r)$ и интегральную степень деполяризации γ . Данные характеристики

вычислялись специально написанной мной программой в среде MatLab по получаемым в ходе экспериментов изображениям.

Специально для экспериментального изучения термонаведённой деполяризации в одном и двух активных элементах мною была создана установка. Было проведено несколько экспериментов по установлению деполяризации в активном элементе из стекла, легированного ионами неодима. Эксперименты проводились с разными мощностями нагрева, что давало различное количество максимумов деполяризации по радиусу, определённое для каждой мощности нагрева. На графике (Рис. 1, а) изображена зависимость интегральной степени деполяризации от времени и локальная степень деполяризации через 23 секунды после начала нагрева при мощности нагрева активного элемента по образующей 75 Вт. Во время других экспериментов появлялось от 2 до 3 пиков деполяризации по радиусу.

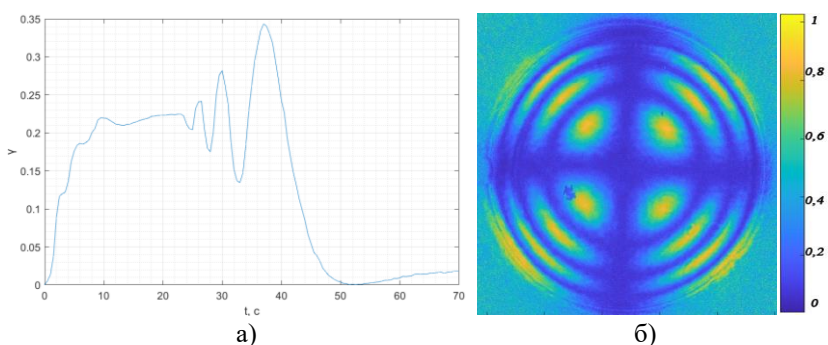


Рис. 1 а) график зависимости интегральной степени деполяризации от времени при $P=75$ Вт; б) локальная степень деполяризации на 23 секунде при $P=75$ Вт

По изображению локальной степени деполяризации видно, что пики деполяризации образуются там, где исходная поляризация не сонаправлена с собственными осями двулучепреломления элемента. Также по этим изображениям видно, как неравномерно нагревается активный элемент при накачке по образующей элемента.

В ходе работы в среде MatLab была написана программа, результатом работы которой является график зависимости разности фаз от расстояния от центра элемента. Были проведены эксперименты с двумя активными элементами, целью которых было доказательство гипотезы о складывании набегов фаз из нескольких элементов. Результаты эксперимента (рис. 2) доказывают это. В областях, где набег фазы для одного элемента составляет π (максимум локальной деполяризации), для двух элементов набег фазы составляет 2π (минимум локальной деполяризации), а для областей, где набег фазы для одного элемента составляет 2π , для двух элементов составляет 4π (минимумы локальной деполяризации).

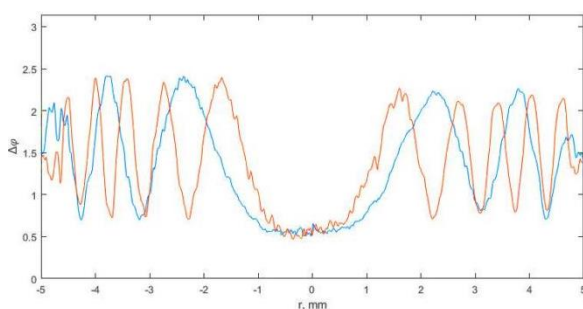


Рис. 2. Зависимость набег фазы $\Delta\varphi$ от расстояния от центра луча r . Синий график – один элемент, красный график – два элемента при $P=62,8$ Вт

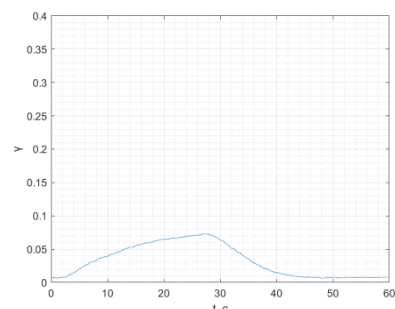
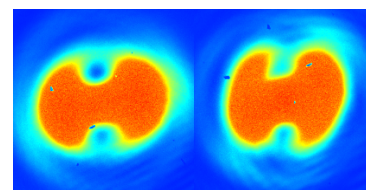


Рис. 3. Интегральная степень деполяризации с ВПП при $P = 28,3$ Вт

В ходе работы проверен и описан метод компенсации с помощью вращателя плоскости поляризации (ВПП) на 90° . Компенсация происходит за счёт того, что собственные оси двулучепреломления в активном элементе, между которыми появляется разность фаз за счёт двулучепреломления, при прохождении через ВПП меняются местами, и, при прохождении через второй активный элемент, разность фаз сокращается. Экспериментально доказана высокая эффективность данного метода компенсации деполяризации. На графике (рис. 3), соответствующему эксперименту с ВПП видно, что в экспериментах с

использованием ВПП интегральная степень значительно меньше, чем в экспериментах без ВПП.

В ходе работы проводилось наблюдение дальней зоны. В ней наблюдался эффект сжатия изображения вызванного изменением коэффициентов преломлений в разных точках сечения активных элементов за счёт появления двулучепреломления. Экспериментально проверено появление такого эффекта для одного и двух элементов (рис. 4). Во время эксперимента наводились сильные тепловые линзы, которые мешали наблюдать эффект большую часть эксперимента.



а) б)
Рис. 4. Интенсивность излучения в дальней зоне в определённые моменты времени: а) 44 секунда для двух элементов с $P = 62,8$ Вт; б) 38 секунда для одного элемента с $P = 62,8$ Вт

Заключение: В ходе работы была создана установка для изучения термонаведённой деполяризации для одного или двух последовательно расположенных активных элементов. Была подробно изучена термонаведённая деполяризация в активном элементе твердотельного лазера, проведены различные опыты с различными мощностями нагрева, подробно описано происходящие с поляризацией процессы при нагревании по образующей активного элемента. Деполяризация возникает при больших градиентах температур и достигает максимума, когда набег фазы на образующей при остывании составляет π . Теоретически описано и экспериментально доказано, что набег фазы складывается из набегов фаз из нескольких элементов. Теоретически рассмотрен и экспериментально проверен метод компенсации деполяризации с помощью вращателя плоскости поляризации. Рассмотрен и описан эффект, возникающий в дальней зоне при нагревании и остывании активного элемента. Данные, полученные в ходе экспериментов, можно использовать для предсказания того, что будет происходить с поляризацией в лазерных системах, работающих как непрерывно, так и импульсно. В дальнейшем можно рассмотреть деполяризацию в активных элементах разных диаметров, метод компенсации деполяризации с помощью SLM-матриц (Spatial Light Modulator) и метод обнаружения дефектов внутри элемента с помощью деполяризации.

Литература

1. *Тарасов Л.В.* Физика процессов в генераторах когерентного оптического излучения. – М.: Радио и связь, 1981. С. 7 – 27.
2. *Мезенов А.В., Сомс Л.Н., Степанов А.И.* Термооптика твердотельных лазеров. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1986. С. 5 – 6, 46 – 48.
3. *Десяцков В.А., Десяцкова Л.В., Попов В.И.* Высокоэффективная компенсация действия термонаведенного двулучепреломления в активных элементах из стекла с неодимом. Инженерный журнал: наука и инновации, 2013, вып. 9.