

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ЛИНЗЫ В АНИЗОТРОПНЫХ ЛАЗЕРНЫХ КРИСТАЛЛАХ МЕТОДОМ ПРОБНОГО ПУЧКА В УСЛОВИЯХ ЛАМПОВОЙ НАКАЧКИ

Лойко П. А.<sup>1</sup>, Юмашев К. В.<sup>1</sup>, Кулешов Н. В.<sup>1</sup>, Павлюк А. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup> Институт неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения РАН,  
г. Новосибирск, Российская Федерация

*Создана экспериментальная установка для определения параметров термической линзы (оптической силы, коэффициента чувствительности и степени астигматизма) в анизотропных лазерных кристаллах в условиях ламповой накачки методом пробного пучка. При помощи данной методики определены параметры астигматической термической линзы в лазерном активном элементе на основе кристалла калий-гадолиниевого вольфрамата, активированного ионами неодима Nd:KGdW, ориентированного для распространения излучения вдоль оси оптической индикатрисы  $N_p$ , на длине волны 1,06 мкм для поляризаций света  $E \parallel N_m$  и  $N_g$ .*

### Введение

Термооптические искажения лазерных активных элементов на основе твердотельных сред (т.е. изменение профиля показателя преломления среды, вызванное неоднородным распределением температуры и внутренних напряжений) [1] в настоящее время принято описывать при помощи модели термической линзы. Термическая линза – это идеальная линза, действие которой на волновой фронт излучения эквивалентно действию термооптически возмущенной среды. Ее свойства определяются геометрией эксперимента (условиями накачки и охлаждения, формой активного элемента), а также теплофизическими и термооптическими свойствами используемой лазерной среды [1–3] (температурным коэффициентом показателя преломления, тензором коэффициентов линейного термического расширения, коэффициентом теплопроводности, а также тензором фотоупругих постоянных). Информация об оптической силе термической линзы для данной активной среды является ключевой для конструирования и оптимизации работы лазеров на ее основе. В то же время теоретический расчет данной величины для многих используемых лазерных кристаллов затруднен неопределенностью данных об их физических свойствах. Поэтому актуальной является задача эксперимен-

тального определения параметров термической линзы.

Термическая линза активного элемента приводит к изменению свойств волнового фронта проходящего через активную среду излучения; пространственных и энергетических свойств выходного излучения лазера, условий стабильности лазерного резонатора [1]. Эти изменения могут быть зарегистрированы при помощи различных методов определения параметров термической линзы, которые описаны ниже в порядке возрастания сложности их экспериментальной реализации и точности определения оптической силы термической линзы.

Геометрические методы являются наиболее простыми (лазерные пучки рассматриваются в рамках геометрической оптики, как пучки световых лучей), но при этом характеризуются наибольшей погрешностью определения оптической силы термической линзы (~30 %) и не позволяют проводить измерения для анизотропных сред [1, 2]. Примерами таких методов являются метод фокусировки лазерного пучка [2] (определяется положение точки фокусировки коллимированного лазерного пучка, проходящего через термовозмущенную среду); метод отклонения лазерного пучка [1] (регистрируется угловое отклонение коллимированного пучка, проходящего через оптически

накачиваемый активный элемент на некотором расстоянии от его оси, от первоначального направления распространения).

*Методы срыва генерации* основаны на выведении из устойчивости лазерного резонатора, что регистрируется по значительным изменениям пространственных и энергетических характеристик выходного излучения лазера, вплоть до прекращения генерации [2, 4–6].

В качестве параметра, изменение которого приводит к ухудшению условий устойчивости резонатора, может выступать его длина [4, 6] или оптическая сила термической линзы, пропорциональная мощности накачки [5]. Данные методы имеют низкую точность (~20 %), измерения ограничены длиной волны и поляризацией лазерного излучения. Анализ анизотропии лазерной среды при помощи данных методов затруднен.

*Методы пробного пучка* основаны на анализе каустики зондирующего пучка излучения, прошедшего через оптически накачиваемую область активного элемента параллельно или под малым углом к его оси [2, 7, 8]. Параметры термической линзы определяются при помощи методов матричной оптики [2]. Преимуществами данных методов являются возможность проведения измерения для произвольной длины волны и поляризации зондирующего излучения, анализ анизотропии термооптических искажений лазерной среды, относительно высокая точность (~10 %) и простота реализации.

Данный подход особенно привлекателен для проведения измерений в условиях ламповой накачки [7] (для большого объема активного элемента), когда достаточно просто можно обеспечить перекрытие зондирующего пучка и накачиваемой области активного элемента (в отличие от диодной накачки, для которой эта область имеет размеры ~100 мкм) [8].

*Методы анализа моды выходного излучения* лазера основаны на моделировании каустики пучка выходного излучения лазера при помощи матричной оптики [1, 5, 9, 10]. Они характеризуются высокой точностью (~10 %) и позволяют анализировать анизотропию термооптических искажений активного элемента, но измерения ограничены длиной волны и поляризацией лазерного излучения; кроме того, для повышения точности измерений генерация должна осуществляться на ТЕМ<sub>00</sub> моде.

Наиболее сложными в экспериментальной реализации являются *интерферометрические*

*методы*: метод классической интерферометрии (оптически накачиваемый активный элемент помещается в одно из плеч интерферометра) [12], интерферометрия пространственного сдвига (пучок излучения, проходящий через накачиваемый активный элемент, испытывает дифракцию на двумерной решетке) [1], измерения при помощи сенсора волнового фронта Шека–Хартмана [11].

Данные подходы обладают наибольшей информативностью: они позволяют варьировать длину волны и поляризацию зондирующего излучения, анализировать анизотропию термооптических эффектов, обеспечивая наибольшую точность (~5 %).

В данной работе для проведения измерений выбран метод пробного пучка в отсутствие лазерного резонатора, сочетающий относительную простоту экспериментальной установки, возможность варьирования поляризации и длины волны излучения и приемлемую точность.

Создан экспериментальный стенд, реализующий данный метод для условий ламповой накачки, определены параметры астигматической термической линзы в лазерном активном элементе на основе кристалла калийгадолиниевого вольфрамата, активированного ионами неодима Nd: KGdW, ориентированного для распространения излучения вдоль оси оптической индикатрисы  $N_p$ , на длине волны 1.06 мкм для поляризаций света  $E \parallel N_m$  и  $E \parallel N_g$ .

### Методика измерений

В активном элементе твердотельного лазера в условиях ламповой накачки возникает параболическое радиальное распределение показателя преломления  $n(r) = n_0(1 - \gamma r^2)$  [2], где  $n_0$  – значение показателя преломления на оси стержня;  $\gamma$  – постоянная, определяемая свойствами активной среды. ABCD-матрица такого термически возмущенного элемента длиной  $L$  (или *термической линзы*) имеет вид [2]:

$$M_{lens} = \begin{bmatrix} \cos(\sqrt{2\gamma}L) & \frac{\sin(\sqrt{2\gamma}L)}{\sqrt{2\gamma}n_0} \\ -\sqrt{2\gamma}n_0 \sin(\sqrt{2\gamma}L) & \cos(\sqrt{2\gamma}L) \end{bmatrix}. \quad (1)$$

При выполнении условия  $2\gamma L^2 < 0,25$  ABCD-матрица термической линзы эквивалентна (с точностью 1 %) матрице толстой

линзы с фокусным расстоянием  $f = 1/(2\gamma n_0 L)$  и расстоянием от поверхностей линзы до ее главных плоскостей  $h = L/2n_0$ :

$$M'_{lens} = \begin{bmatrix} 1 - h/f & L/n_0 \\ -1/f & 1 - h/f \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Для активного элемента длиной  $L = 60$  мм, показатель которого равен  $n_0 = 2$ , условие эквивалентности матриц (1) и (2) с точностью 1 % имеет вид:  $1/f < 2,1 \text{ м}^{-1}$ .

Термическая линза активного элемента приводит к изменению пространственных свойств зондирующего излучения, проходящего через него параллельно оптической оси  $o$  (рисунок 1а - каустика пробного пучка в отсутствие накачки).

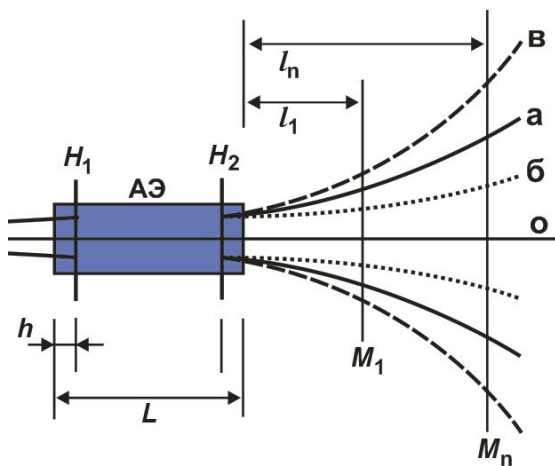


Рисунок 1 – К описанию метода пробного пучка определения параметров термической линзы: АЭ – термически возмущенный активный элемент;  $H_1$  и  $H_2$  – главные плоскости термической линзы активного элемента;  $M_1, \dots, M_n$  – плоскости измерения диаметров пучка пробного излучения;  $o$  – оптическая ось системы;  $a, b, v$  – каустика пробного пучка в отсутствие накачки, при положительной ( $D > 0$ ) и отрицательной ( $D < 0$ ) термической линзе соответственно

Положительная термическая линза (оптическая сила  $D = 1/f > 0$ ) приводит к уменьшению размера пробного пучка в дальней зоне (б), а отрицательная ( $D < 0$ ) – к его увеличению (в). Таким образом, поведение профиля пучка в дальней зоне однозначно характеризует знак линзы.

Для расчета каустики пробного пучка с учетом термической линзы необходимо определить комплексный параметр пучка  $q$ , описывающий свойства пучка на торце активного

элемента (на входе в термически возмущенную активную среду) [2]:

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{R} - \frac{i\lambda}{\pi\omega^2}, \quad (3)$$

где  $R$  и  $\omega$  – радиус кривизны волнового фронта пучка и его радиус по уровню  $1/e^2$  соответственно;  $\lambda$  – длина волны излучения;  $i$  – мнимая единица.

Величина  $q$  не зависит от параметров термической линзы и определяется только свойствами зондирующего лазерного источника. Она может быть определена на основе измерений диаметров пробного пучка, проходящего через активный элемент в отсутствие накачки. Как следует из ABCD-закона распространения гауссова пучка, значение комплексного параметра пучка на расстоянии  $l$  от второго торца активного элемента (рисунок 1) описывается выражением:

$$q(l) = q + l + L/n_0. \quad (4)$$

Определив мнимую часть выражения (4) для двух различных расстояний  $l_1$  и  $l_2$ , можно получить систему уравнений, связывающих значения  $R$  и  $\omega$  на входе в активную среду с измеренными на данных расстояниях радиусами пробного пучка  $\omega_1$  и  $\omega_2$ :

$$\begin{aligned} \omega_1^2 &= (\lambda/\pi\omega)^2 + \omega^2(l_1 + L/n_0 + 1/R), \\ \omega_2^2 &= (\lambda/\pi\omega)^2 + \omega^2(l_2 + L/n_0 + 1/R). \end{aligned} \quad (5)$$

Данная система решается численно относительно величин  $R$  и  $\omega$ , на основе которых при помощи выражения (3) рассчитывается значение  $q$ .

Для расчета каустики пробного пучка, проходящего через накачиваемый активный элемент (с учетом влияния термической линзы), используем ABCD-закон распространения гауссова пучка [2]:

$$\begin{aligned} q(l, f) &= \frac{Aq + B}{Cq + D}, \\ \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & l \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 - h/f & L/n_0 \\ -1/f & 1 - h/f \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $A, B, C, D$  – компоненты матрицы, описывающей распространение пучка пробного излучения через термически возмущенную активную среду и пустое пространство длиной  $l$ ;

$q(l, f)$  – комплексный параметр пробного пучка на расстоянии  $l$  от торца активного элемента.

Как следует из определения параметра  $q$  [выражение (3)], каустика пробного пучка (зависимость его радиуса от продольной координаты) есть:

$$\omega(l, f) = \sqrt{\frac{-\lambda}{\pi \operatorname{Im}[1/q(l, f)]}}. \quad (7)$$

Измеренные при различных значениях средней мощности накачки зависимости радиуса пробного пучка, прошедшего через термо-возмущенный активный элемент, от расстояния от торца активного элемента моделируются при помощи выражений (6–7). При этом величина фокусного расстояния термической линзы  $f$  выступает в роли варьируемого параметра. На основе наилучшего согласия между экспериментальными точками и данными моделирования каждому из значений средней мощности накачки ставится в соответствие некоторое значение фокусного расстояния  $f$  и, следовательно, оптической силы  $D = 1/f$ .

В твердотельных лазерах с ламповой накачкой величина оптической силы термической линзы активного элемента линейно зависит от средней мощности накачки. Угловым коэффициентом данной зависимости называется *коэффициентом чувствительности*  $M$  [3] и показывает, насколько изменяется величина оптической силы линзы при изменении средней мощности накачки на 1 Вт:  $M = dD/dP$ , где  $P$  – средняя мощность накачки.

Радиальная симметрия активного элемента обуславливает наличие астигматизма термической линзы активного элемента для изотропных сред или кристаллов с кубической симметрией [3]. Геометрия астигматизма линзы в этом случае определяется направлением поляризации выходного излучения лазера. Для низкосимметричных сред астигматизм термической линзы обусловлен радиальной симметрией активного элемента и анизотропией термооптических и термофизических свойств данной среды [1, 3].

Астигматизм термической линзы приводит к тому, что для лучей, лежащих в различных меридиональных плоскостях (содержащих ось активного элемента), оптическая сила термической линзы различна (в том числе может иметь разные знаки).

Пробный пучок, проходящий через среду с астигматической термической линзой, будет

деформироваться таким образом, что его пространственный профиль станет эллиптическим, большая и малая оси эллипса будут соответствовать главным меридиональным плоскостям линзы  $A$  и  $B$  (рисунок 2). Главными называются меридиональные плоскости, для которых оптическая сила максимальна ( $B$ ) и минимальна ( $A$ ).

Действительно, как следует из рисунка 1, при увеличении оптической силы термической линзы радиус пробного пучка в дальней зоне возрастает, поэтому меридиональная плоскость  $A$  будет соответствовать наибольшему радиусу пучка и наименьшему значению оптической силы линзы. Для изотропных сред плоскость  $B$  параллельна вектору поляризации выходного излучения лазера (рисунок 2 б).

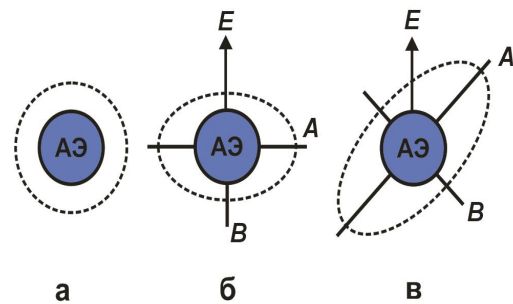


Рисунок 2 – К описанию астигматизма термической линзы: а – отсутствие накачки ( $P = 0$ ); б и в – для оптически накачиваемого активного элемента на основе изотропной и анизотропной среды, соответственно; АЭ – активный элемент; штрихованные линии – сечение профиля пробного пучка, прошедшего через активный элемент;  $A, B$  – главные меридиональные плоскости термической линзы,  $E$  – вектор поляризации выходного излучения лазера

Для анизотропных сред направление вектора поляризации выходного излучения может образовывать с плоскостями  $A$  и  $B$  некоторые углы (рисунок 2 в). Степень астигматизма термической линзы  $S$  можно определить как разность коэффициентов чувствительности  $M_{A(B)}$  в главных меридиональных плоскостях:

$$S = M_B - M_A, M_{A(B)} = dD_{A(B)}/dP. \quad (8)$$

Таким образом, при определении параметров термической линзы в условиях ламповой накачки при помощи метода пробного пучка: 1) определяют комплексный параметр пробного пучка на входе в активную среду [решая систему (5)]; 2) моделируют экспери-

ментально полученные зависимости радиуса пробного пучка от расстояния от торца активного элемента [при помощи выражений (6–7)] и находят величину оптической силы термической линзы в зависимости от средней мощности накачки; 3) определяют коэффициент чувствительности термической линзы  $M$ . Для простых астигматических пучков (так называемых двумерных гауссовых пучков, для которых ориентация плоскостей  $A$  и  $B$  не изменяется при распространении пучка) задачи о распространении пучка для плоскостей  $A$  и  $B$  являются независимыми [2]. Итак, величины  $M_A$  и  $M_B$  определяются независимо друг от друга; 4) находят степень астигматизма термической линзы [выражение (8)].

### Экспериментальная установка

Для определения параметров термической линзы в лазерном кристалле калий-гадолиниевого вольфрамата, активированного ионами неодима Nd (3 at.%):KGdW методом пробного пучка, был создан экспериментальный стенд, схема которого представлена на рисунке 3.

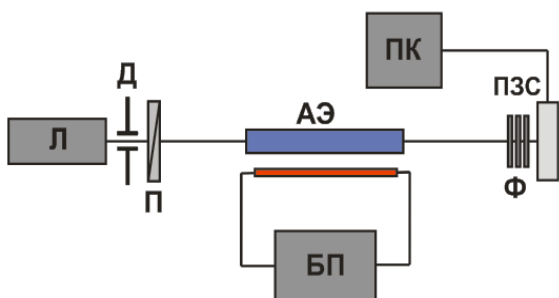


Рисунок 3 – Схема экспериментального стенда для определения параметров термической линзы в анизотропных лазерных кристаллах методом пробного пучка: Л – зондирующий лазер; Д – диафрагма; П – поляризатор (Глана–Тэйлора); АЭ – активный элемент; БП – блок питания импульсной лампы-вспышки; Ф – светофильтры; ПЗС – камера для регистрации пространственного профиля пучка пробного излучения; ПК – компьютер

Ориентация активного элемента соответствовала распространению излучения в направлении оси оптической индикатрисы  $N_p$  (совпадающей с кристаллографическим направлением  $b$ ) [12]. В качестве зондирующего использовалось излучение лазера на кристалле Nd:YAG (длина волны выходного излучения 1,06 мкм), пробное излучение было ли-

нейно поляризованным в направлениях осей оптической индикатрисы  $N_m$  (соответствует поляризации выходного излучения лазера на кристалле  $N_p$ -Nd:KGW) или  $N_g$ .

Пробное излучение с другими поляризациями не может распространяться в данном кристалле без влияния эффекта двулучепреломления. Активный элемент диаметром 4 мм и длиной 60 мм накачивался при помощи импульсной лампы-вспышки (частота следования импульсов до 50 Гц). На оба торца элемента были нанесены просветляющие покрытия для длины волны излучения 1,06 мкм (соответствует длине волны лазерной генерации в кристалле Nd:KGdW [12]). Для регистрации пространственного профиля пробного пучка на различных расстояниях от торца активного элемента использовалась ПЗС-камера, подключенная к компьютеру.

### Результаты измерений

При увеличении средней мощности накачки профили пробного пучка, проходящего через накачиваемый активный элемент  $N_p$ -Nd:KGW, становятся эллиптическими (для обеих поляризаций пробного излучения,  $E \parallel N_m$  и  $E \parallel N_g$ ). Большая и малая оси данного эллипса ориентированы в направлениях  $N_g+30^\circ$  ( $A$ ) и  $N_m+30^\circ$  ( $B$ ) соответственно (рисунок 4). При увеличении мощности накачки ориентация направлений  $A$  и  $B$  не изменяется.

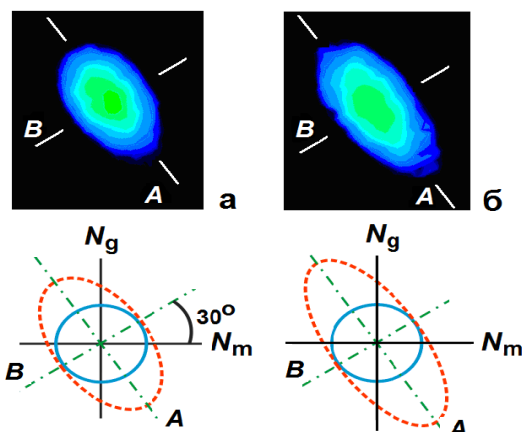
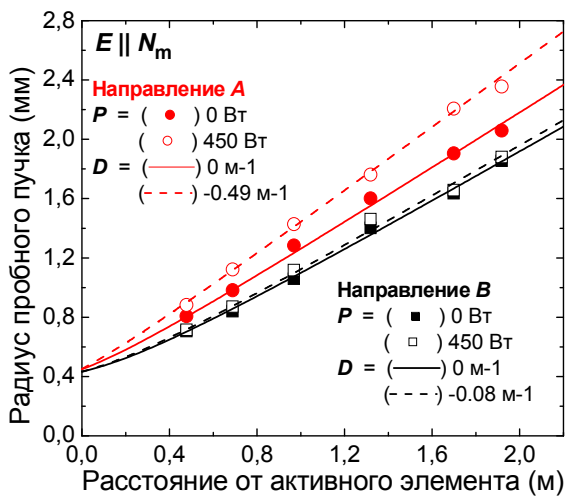


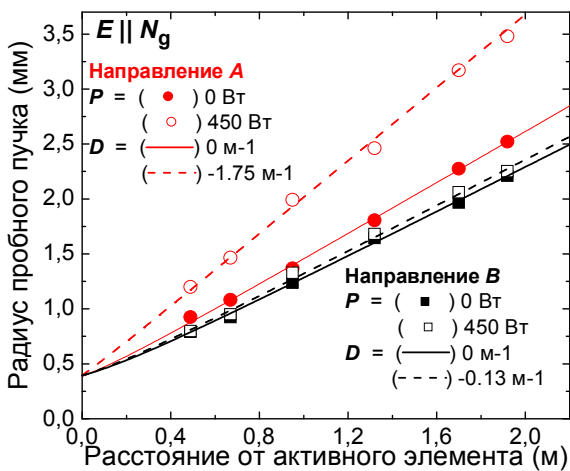
Рисунок 4 – Деформация пространственного профиля пучка пробного излучения, проходящего через оптически накачиваемый активный элемент  $N_p$ -Nd:KGdW для поляризаций света  $E \parallel N_m$  (а) и  $E \parallel N_g$  (б): вверху – зарегистрированные профили пробного пучка; внизу – схема деформации пучка (сплошные эллипсы – профиль пучка при высоком уровне накачки)



Пучок пробного излучения испытывает значительное расширение в направлении  $A$  и слабо изменяется в направлении  $B$ . Таким образом, термическая линза в кристалле  $N_p$ -Nd:KGdW для поляризаций света  $E \parallel N_m$  и  $E \parallel N_g$  является астигматической и обладает сильной отрицательной оптической силой в направлении  $A$  и близкой к нулю оптической силой в направлении  $B$ . Для поляризации света  $E \parallel N_g$  расширение пучка в направлении  $A$  происходит сильнее, чем для поляризации  $E \parallel N_m$ , что приводит к большей эллиптичности профиля пробного излучения.



а



б

Рисунок 5 – Зависимость радиуса пучка пробного излучения от расстояния от торца активного элемента  $N_p$ -Nd:KGdW для меридиональных плоскостей  $A$  и  $B$  и поляризаций света  $E \parallel N_m$  (а) и  $E \parallel N_g$  (б); точки – экспериментальные данные, линии – моделирование каустики пробного пучка при помощи выражений (6–7)

Зависимости радиуса пучка пробного излучения от расстояния от торца активного элемента для меридианальных плоскостей  $A$  и  $B$  и поляризаций света  $E \parallel N_m$  и  $E \parallel N_g$  приведены на рисунке 5.

На основе данных зависимостей были определены значения оптической силы термической линзы лазерного активного элемента  $N_p$ -Nd:KGW (рисунок 6).

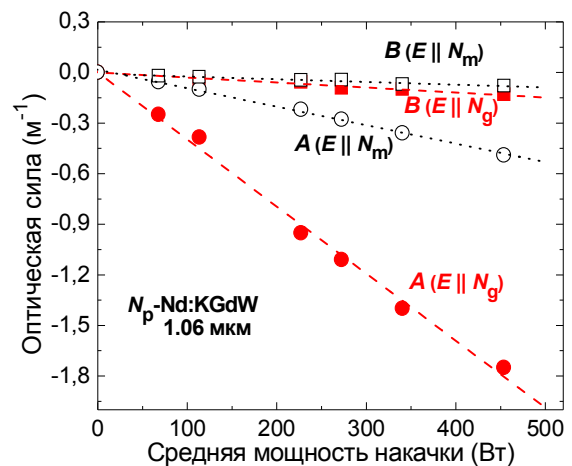


Рисунок 6 – Зависимость оптической силы термической линзы в  $N_p$ -Nd:KGdW от средней мощности накачки для меридиональных плоскостей  $A$  и  $B$  и поляризаций света  $E \parallel N_m$  и  $E \parallel N_g$

На данном рисунке точки соответствуют экспериментальным значениям оптической силы, прямые – линейная аппроксимация экспериментальных данных для определения коэффициентов чувствительности [выражение (8)]:  $M_A = -1,05$ ;  $M_B = -0,18$  ( $E \parallel N_m$ );  $M_A = -4,01$ ;  $M_B = -0,31$  ( $E \parallel N_g$ ) [ $10^{-3} m^{-1}/W$ ]. Степень астигматизма термической линзы в  $N_p$ -Nd:KGW равна  $S = 0,87$  ( $E \parallel N_m$ );  $S = 3,70$  ( $E \parallel N_g$ ) [ $10^{-3} m^{-1}/W$ ]. Измеренные значения оптической силы удовлетворяют требованию  $1/f < 2,1 m^{-1}$ , полученному при выводе выражения (2).

### Заключение

При помощи метода пробного пучка в условиях ламповой накачки определены параметры термической линзы в лазерном активном элементе на основе кристалла Nd:KGdW, ориентированного для распространения излучения вдоль оси оптической индикатрисы  $N_p$ , на длине волны 1,06 мкм для поляризаций света  $E \parallel N_m$  и  $E \parallel N_g$ . Термическая линза в данном кристалле является астигматической, ее глав-

ные меридиональные плоскости ( $A$  и  $B$ ) ориентированы под углами  $\sim 30^\circ$  к плоскостям  $N_p-N_g$  и  $N_p-N_m$ , соответственно. Коэффициенты чувствительности термической линзы для данных меридиональных плоскостей равны  $M_A = -1,05$ ;  $M_B = -0,18$  ( $E \parallel N_m$ );  $M_A = -4,01$ ;  $M_B = -0,31$  ( $E \parallel N_g$ ) [ $10^{-3}$  м<sup>1</sup>/Вт]. Степень астигматизма термической линзы равна  $S = 0,87$  ( $E \parallel N_m$ );  $S = 3,70$  ( $E \parallel N_g$ ) [ $10^{-3}$  м<sup>1</sup>/Вт].

### Список использованных источников

1. *Chenais, S.* On thermal effects in solid-state lasers: The case of ytterbium-doped materials / S. Chenais [et al.] // Progress in Quant. Electr. – 2006. – № 30. – P. 89-153.
2. *Hodgson, N.* Optical resonators: fundamentals, advanced concepts and applications / N. Hodgson, H. Weber // Springer. – 1997. – Chap. 12.
3. *Koechner, W.* Solid-State Laser Engineering, 6<sup>th</sup> ed. W. Koechner / Springer. – 2006. – Chap. 7.
4. *Chang, Y.T.* Comparison of thermal lensing effects between single-end and double-end diffusion-bonded Nd:YVO<sub>4</sub> crystals for  $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$  and  $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$  transitions / Y.T. Chang [et al.] // Optics Express. – 2008. – Vol. 16(25). – P. 21155–21160.
5. *Loiko, P.A.* Thermal lens study in diode pumped  $N_g$ - and  $N_p$ -cut Nd:KGd(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> laser crystals / P.A. Loiko [et al.] // Optics Express. – 2009. – Vol. 17. – P. 23536–23543.
6. *Ведяшкин, Н.В.* Новый метод измерения фокусного расстояния термической линзы в твердотельных лазерах с короткой активной средой / Н.В. Ведяшкин [и др.] // Квант. Электр. – 2003. – Т. 33, № 4. – С. 367–369.
7. *Yumashev, K.V.* Laser performance of  $N_g$ -cut flash-lamp pumped Nd:KGW at high repetition rates / K.V. Yumashev [et al.] // Appl. Phys. B. – 2007. – Vol. 89. – P. 39–43.
8. *Hellstrom, J.E.* Laser performance and thermal lensing in high-power diode-pumped Yb: KGW with athermal orientation / J.E. Hellstrom, S. Bjurshagen, V. Pasiskevicius // Appl. Phys. B. – 2006. – Vol. 83. – P. 55–59.
9. *Hoos, F.* Thermal lensing in an end-pumped Yb:KGW slab laser with high power single emitter diodes / F. Hoos [et al.] // Optics Express. – 2008. – Vol. 16, № 9. – P. 6041–6049.
10. *Demidovich, A.A.* Comparison of cw laser performance of Nd:KGW, Nd:YAG, Nd:BEL, and Nd:YVO<sub>4</sub> under laser diode pumping / A.A. Demidovich [et al.] // Appl. Phys. B. – 1998. – Vol. 67. – P. 11–15.
11. *Chenais, S.* Thermal lensing measurements in diode-pumped Yb-doped GdCOB, YCOB, YSO, YAG and KGW / S. Chenais [et al.] // Opt. Mater. – 2003. – Vol. 22. – P. 129–137.
12. *Mochalov I.V.* Laser and nonlinear properties of the potassium gadolinium tungstate laser crystal KGd(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>:Nd<sup>3+</sup>-(KGW:Nd) / I.V. Mochalov / Opt. Eng. – 1997. – № 36. – P. 1660-1669.

---

Loiko P. A., Yumashev K. V., Kuleshov N. V., Pavlyuk A. A.

### Thermal lensing measurements in the flashlamp-pumped anisotropic laser crystals by a probe beam technique

The experimental setup for thermal lens properties determination (particularly, its sign, optical power, laser rod sensitivity factors and astigmatism degree) in the anisotropic flashlamp-pumped laser crystals by a probe beam technique was developed. By means of this approach, thermal lensing measurements were performed in the  $N_p$ -cut Nd-doped potassium gadolinium tungstate (Nd:KGdW) laser crystal at the wavelength of 1,06  $\mu\text{m}$  for light polarizations  $E \parallel N_m$  и  $E \parallel N_g$ .

Поступила в редакцию 28.03.2011.