

• ДК 621.378.325

ФИЗИКА

Г. А. Геворгян, Е. В. Кошеверский, В. Ф. Купришов

Распределение излучения накачки в лазерных активных элементах
 из АИГ: Nd^{3+} прямоугольного сечения

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР М. Л. Тер-Микзеляном 15/X 1978)

Известно (¹), что излучение источника накачки распределяется в активном элементе лазера неравномерно, причем характер распределения излучения накачки определяется параметрами активного элемента (материалом активной среды, концентрацией активных ионов, формой и размерами элемента и т. д.). Неравномерность распределения поглощенной плотности мощности накачки и, соответственно, изменение по сечению элемента коэффициента усиления приводит к амплитудным искажениям генерируемых мод, локальным возрастаниям плотности мощности излучения и в ряде случаев является причиной разрушения торцев активного элемента. Кроме того, неравномерность тепловыделения по сечению элемента обуславливает возникновение в элементе термооптических искажений.

В лазерах, работающих в режиме одиночных импульсов, неравномерность тепловыделения практически полностью определяет параметры термической линзы в процессе генерации. В непрерывных лазерах и в импульсных лазерах с большой частотой повторения импульсов неравномерность тепловыделения выступает как один из двух факторов (второй фактор — теплопередача к поверхности), определяющих термооптические искажения.

Методика расчета распределения излучения накачки разработана для элементов различной формы (¹). Расчеты на ЭВМ распределения накачки и тепловыделения выполнены для твердотельных активных элементов из рубина и стекла с неодимом (^{1,2}).

В настоящей работе приведены результаты расчета численным методом на ЭВМ распределения плотности мощности накачки и суммарной поглощенной мощности в активных элементах из алюмоиттриевого граната с неодимом (АИГ: Nd^{3+}) прямоугольного сечения. Выбор такой формы обусловлен тем, что в прямоугольном активном элементе по сравнению с традиционным круглым элементом возможно получение более равномерной накачки, облегчаются условия охлаждения эле-

мента и возможно применение более эффективных методов борьбы с термооптическими искажениями. В частности, в одной плоскости сечения прямоугольного активного элемента возможно устранение термооптических искажений при выполнении условия проявления аномально-го термооптического эффекта (3), заключающегося в том, что в результате взаимодействия двух факторов — неравномерности тепловыделения и теплоотвода к поверхности — в плоскости, параллельной широким боковым граням элемента, при увеличении соотношения сторон наблюдается быстрый рост фокусного расстояния термической линзы и изменение ее знака на отрицательный при определенном соотношении сторон.

Расчет выполнен по методике, изложенной в работе (1) при следующих предположениях:

- боковая поверхность элемента диффузно и равномерно освещена источником накачки;
- концентрация неоднородна и, соответственно, коэффициент поглощения постоянен по объему элемента;
- коэффициент поглощения не зависит от интенсивности накачки;
- продольные размеры активного элемента много больше поперечных размеров; накачка вдоль элемента однородна;
- излучение источника накачки некогерентно и неполяризовано;
- активный элемент окружен водой.

Расчеты выполнены как для монохроматической, так и полихроматической накачек.

Относительную плотность мощности излучения накачки $q(x, y)$ в любой точке внутри активного элемента можно найти, суммируя все лучи, приходящие от каждой боковой грани S_i ($i=1-4$):

$$q(x, y) = \frac{W_{P_{\text{внутр}}}}{W_{P_{\text{пол}}}} = \varphi q_1(x) + \psi q_2(y),$$

где $W_{P_{\text{внутр}}}$ — плотность мощности накачки внутри активного элемента; $W_{P_{\text{пол}}}$ — плотность мощности накачки у поверхности элемента; φ и ψ — коэффициенты, показывающие долю общей мощности накачки, падающую на соответствующие грани (при равномерной освещенности поверхности $\varphi : \psi$ — равно отношению сторон в поперечном сечении элемента, $\varphi + \psi = 1$); q_1, q_2 — суммы двух интегралов, вычисленных по двум противоположным боковым граням (например, S_1 и S_3, S_2 и S_4):

Интеграл по одной грани имеет вид (1):

$$q(x) = \frac{n^2}{4\pi} \iint_S \frac{(1-r)\cos\gamma e^{-\gamma l}}{L^2(1-re^{-2\gamma l \cos\gamma})} dY dZ,$$

где n — относительный показатель преломления; r — коэффициент отражения; l — расстояние от исследуемой точки внутри активного эле-

мента до элементарной площадки dS , произвольно выбранной на поверхности S ; γ —угол преломления (угол между нормалью к dS и направлением L); β —коэффициент поглощения, зависящий от концентрации ионов неодима; b —полутолщина активного элемента вдоль оси Y .

Поглощенную плотность мощности накачки (в относительных единицах) находим, умножая $q(x, y)$ на коэффициент поглощения β .

При полихроматической накачке распределение плотности мощности накачки в прямоугольном сечении элемента различно для разных линий, и суммарная поглощенная плотность мощности накачки в каждой точке элемента находится путем суммирования произведений плотности мощности накачки на каждой линии на соответствующий коэффициент поглощения (4).

Мощность излучения монохроматической накачки, поглощенную во всем объеме активного элемента, можно рассчитать по формуле

$$P_{\text{погл.}} = v\beta l \int_S W_{\text{погл.}}(x, y) dS,$$

где v —скорость света в веществе.

Для полихроматической накачки поглощение мощности излучения находится путем суммирования по линиям излучения источника накачки.

Часть поглощенной мощности накачки переходит в тепло, причем профиль плотности мощности тепловыделения в поперечном сечении элемента повторяет профиль поглощенной плотности мощности накачки. При накачке элемента из АИГ: Nd^{3+} дуговой криптоновой лампой в тепло переходит приблизительно 50% от поглощенной в элементе мощности.

При расчетах варьировались размеры активного элемента в поперечном сечении (от 3 до 40 мм), отношение сторон элемента (от 1:1 до 1:10), коэффициент поглощения мощности накачки в элементе (в диапазоне изменений концентрации неодима от 0,2 до 3 атомарных процентов).

При монохроматической накачке коэффициент поглощения был принят равным $\beta=1,28 \text{ см}^{-1}$ (4), что соответствует самой интенсивной линии поглощения АИГ: Nd^{3+} и самой интенсивной линии излучения дуговой криптоновой лампы на $\lambda=0,81 \text{ мкм}$. На этой же длине волны возможна близкая к монохроматической накачка с помощью светодиодов или металлогаллоидных ламп.

При полихроматической накачке во внимание принималось пять интенсивных линий поглощения АИГ: Nd^{3+} с распределением мощности излучения накачки по линиям, соответствующим дуговой криптоновой лампе (4).

Результаты расчетов представлены на рис. 1—3.

Плотность мощности накачки, поглощенная элементом (соответственно ей — и плотность мощности тепловыделения), возрастает от центра к периферии и максимальна в углах элемента (рис. 1), причем

степень неравномерности (определяется как отношение поглощенной в элементе плотности мощности накачки на краю и в центре элемента) имеет максимум при определенном соотношении сторон элемента (рис. 2).

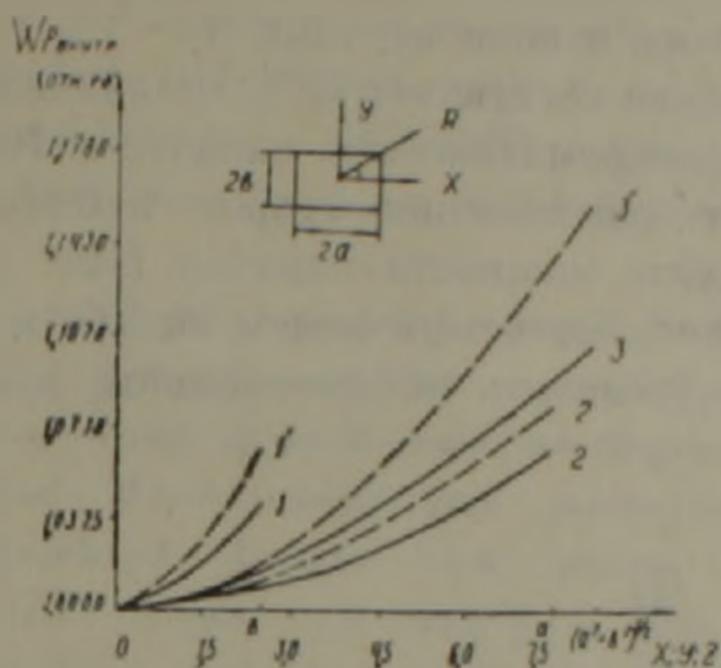


Рис. 1. Распределение плотности мощности накачки в поперечном сечении активного элемента из АИГ: Nd^{3+} (с размерами в сечении 5×15 мм) вдоль оси Y (1.1'), X (2.2') и по диагонали R (3.3') соответственно для полихроматической и монохроматической накачек

При увеличении размеров элементов или коэффициента поглощения (что соответствует увеличению концентрации неодима) степень неравномерности возрастает и максимум неравномерности смещается в сторону меньших соотношений боковых граней.

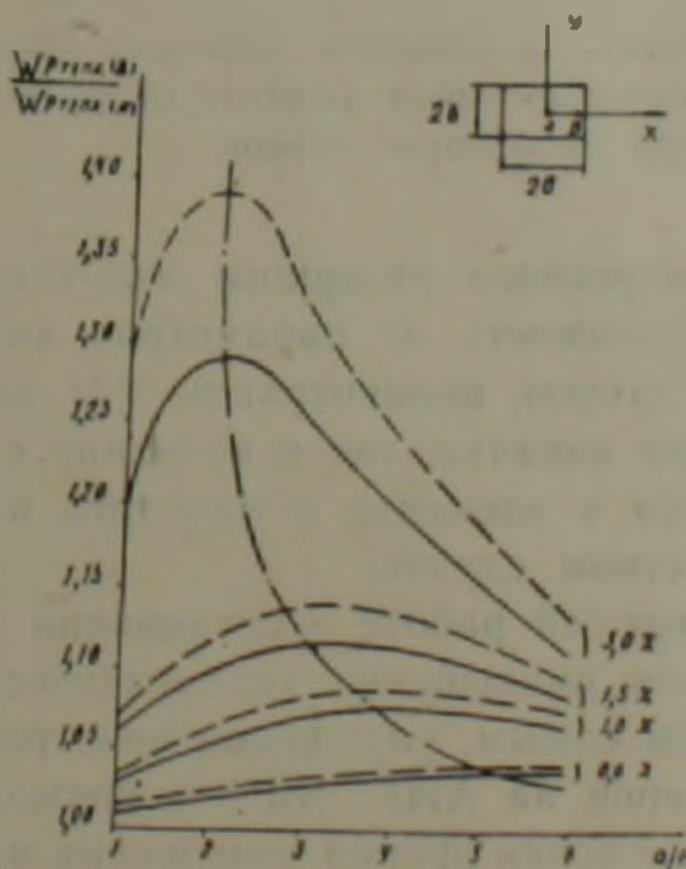


Рис. 2. Зависимость неравномерности тепловыделения в поперечном сечении прямоугольного активного элемента из АИГ: Nd^{3+} от соотношения сторон элемента для различных концентраций неодима ($2 \sigma = 5$ мм) — для полихроматической накачки; - - - для монохроматической накачки. Экспоненциальная линия показывает максимумы для полихроматической накачки

Как показывают расчеты, при полихроматической радиации мощность накачки распределена по сечению активного элемента более равномерно, чем при монохроматической, однако в последнем случае меньше суммарная мощность накачки, поглощаемая элементом и, соответственно, меньше КПД лазера. Например, для элемента размерами в сечении 3×9 мм и концентрации Nd ~ 1% при полихроматической накачке поглощение составляет 50% от падающей на поверхность мощности, а при монохроматической накачке — 70%.

При увеличении соотношения сторон наблюдается уменьшение поглощенной в элементе мощности накачки (рис. 3). Для сохранения КПД лазера на уровне, соответствующем квадратному элементу, целесообразно при этом увеличить объем элемента или повысить концентрацию неодима.

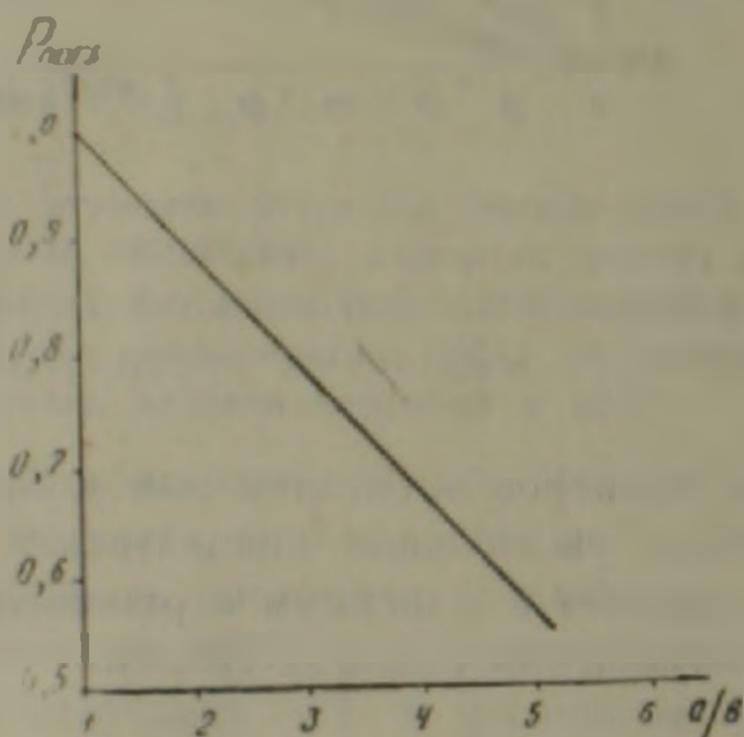


Рис. 3. Зависимость поглощенной мощности накачки в прямоугольном активном элементе от соотношения сторон при постоянном объеме

При разработке конкретного лазерного излучателя следует принимать во внимание зависимость от параметров активного элемента (размеров, соотношения сторон, концентрации Nd) как степени неравномерности распределения накачки, так и величину суммарного поглощения излучения накачки в элементе и находить компромиссное решение в каждом конкретном случае.

Проведенные в настоящей работе исследования представляют интерес как с точки зрения уменьшения термооптических искажений в активном элементе и, тем самым, улучшения пространственных характеристик излучения лазеров на АИГ: Nd^{3+} с прямоугольными активными элементами, так и с точки зрения повышения их КПД.

В заключение авторы выражают благодарность Ю. Г. Туркову за ценные обсуждения.

Институт физических исследований
Академии наук Армянской ССР

Մղման նաուագայրման բաշխումը $YAG:Nd^{3+}$ -ից պատրաստված ուղղանկյուն կտրվածքով լազերային ակտիվ էլեմենտներում

Տվյալ աշխատանքում էլեկտրոնային հաշվիչ մեքենայի օգնությամբ թվային մեթոդով հաշված է մոնոքրոմատիկ և պոլիքրոմատիկ-մղմանների դեպքում ուղղանկյուն կտրվածքով $YAG:Nd^{3+}$ -լազերային ակտիվ էլեմենտներում մղման հզորության խտության բաշխման և ջերմանցատման երևույթները:

Հետազոտված է էլեմենտների շափերի, կողմերի հարաբերակցության և նեոդիմի ակտիվ իոնների կոնցենտրացիայի ազդեցության մղման բաշխման անհամասեռության աստիճանի վրա: Կատարված հաշվարկները հետաքրքրություն են ներկայացնում թերմոօպտիկական խոտորումների մեծության և բնույթի հետազոտությունների, ինչպես նաև՝ նրանց համակշռման մեթոդների ժամանակ $YAG:Nd^{3+}$ -ի վրա աշխատող իմպուլսային, կվադրանդհատ և անընդհատ գործողության լեզերների ակտիվ էլեմենտներում:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Б. И. Степанов, Методы расчета ОКГ, т II, Изд «Наука и техника», Минск, 1968. ² А. Л. Микаэлян, М. Л. Тер-Микаэлян, Ю. Г. Туркоп, ОКГ на твердом теле. Изд «Советское радио», М., 1967. ³ Е. В. Кошеверский, В. Ф. Купришов, А. В. Семенов. Тезисы докладов IX Всесоюзной конференции по когерентной и нелинейной оптике. Л., 1978. ⁴ S. Yoshikawa, K. Iwanoto, K. Washio, Appl. Optics (vol. 10, № 7), July, 1971.