

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛАЗЕРНОГО МОДУЛЯ С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

К. А. Галюк, Б. Д. Овчаренко, В. В. Букин

Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Москва, Россия

В лазерной технике одно из ведущих мест занимают квантроны на основе оптической диодной накачки активной среды [1–2]. В качестве активного элемента (АЭ) квантронов с накачкой лазерными диодными решетками (ЛДР) хорошо подходит Nd:YAG – лазерный кристалл с примесными активными центрами (ионами). Такие квантроны обладают достаточно высокими показателями оптической эффективности работы до 50 %. Однако разработка и применение расчетной математической модели квантрона, которая основана на методе непоследовательной трассировки лучей в программах оптического моделирования, например Zemax [3–4], дает возможность увеличить эффективность работы квантрона. Также для качественной разработки математической модели модуля оптической накачки требуется качественная методика обработки полученных данных, которые являются данными численного эксперимента.

В работе представлены результаты исследований, направленных на определение параметров излучения накачки и разработку модели источника оптической накачки – ЛДР, и описаны результаты моделирования поглощения излучения в Nd:YAG. Целью данной работы является повышение эффективности квантрона и создание математической модели твердотельного лазерного модуля с оптической накачкой ЛДР. Создание квантрона с улучшенными характеристиками представляет интерес для их последующего использования в различных разработках в области лазерной физики.

В программе Zemax проведено построение и выбор параметров математической модели квантрона с оптической накачкой пятью ЛДР, стоящими в один ряд вокруг АЭ (Nd:YAG в форме цилиндра). На основе данной расчетной модели получено распределение поглощенной мощности излучения накачки по сечению АЭ. Изображение построенной модели и распределение поглощенной мощности излучения накачки по сечению АЭ представлены на рис. 1, а, б.

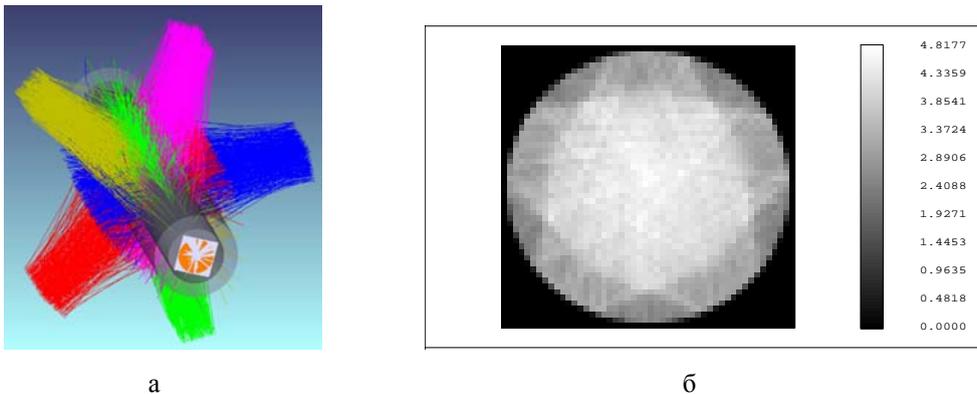


Рис. 1. Математическая модель поперечной пятидиодной накачки АЭ а – изображение 3D модели; б – распределение поглощенной мощности излучения накачки по сечению Nd:YAG (АЭ)

Данная модель содержит 5 одинаковых ЛДР, каждая из которых построена в виде прямоугольного источника Source Diode, имеющего излучение с гауссовым распределением с коэффициентами «супергауссовости» равными 1,0, с постоянным значением углов расходимости. Для определения характеристик излучения ЛДР была найдена однозначная связь двух функций: функции

интенсивности $I(x, y)$, зависящей от координат, и функции интенсивности $I(\theta_{\downarrow x}, \theta_{\downarrow y})$, зависящей от углов:

$$I(x, y) = A \frac{\cos(\theta[x])\cos(\theta[y])}{\sqrt{x^2 + m^2}\sqrt{y^2 + m^2}} e^{-2\left(\frac{\theta[x]^2}{\alpha^2} + \frac{\theta[y]^2}{\beta^2}\right)}, \quad (1)$$

где α и β – угол расходимости XZ и YZ в градусах соответственно, $\theta[x]$ и $\theta[y]$ – углы наклона луча, m – расстояние от источника до экрана.

ЛДР, используемая в модели, генерирует излучение на центральной длине волны 808 нм. Спектр излучения данной ЛДР хорошо соотносится со спектром поглощения Nd:YAG с концентрацией ионов Nd равной 1 %. Нормированный по мощности график спектра излучения ЛДР и график спектра поглощения (зависимости глубины поглощения излучения в Nd:YAG от длины волны излучения накачки) Nd:YAG показаны на рис. 2, а, б соответственно.

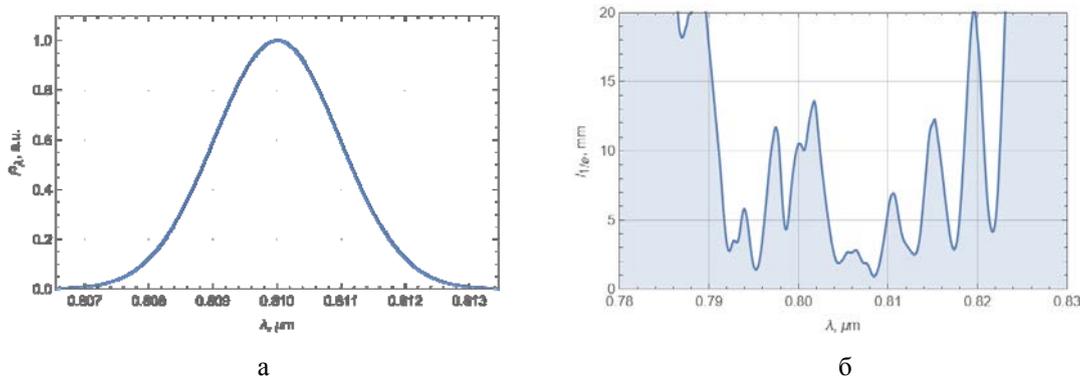


Рис. 2. График спектра а – излучения ЛДР; б – глубины поглощения в Nd:YAG

Полученная модель квантрона имеет показатель эффективности преобразования энергии излучения накачки в энергию поглощенного излучения в АЭ равный 66,4 %. Уменьшение расстояния между ЛДР и АЭ приводит к получению эффективности преобразования энергии излучения накачки в энергию излучения, поглощенного в АЭ, до 75,7 %. Значение эффективности 66,5 % достигается уменьшением количества ЛДР в одном ряду до трех ЛДР, также при приближении 3 ЛДР к АЭ значение эффективности повышается до 76,8 %. Выявлено большое количество других конфигураций конструкции квантрона, которые имеют различные значения эффективности преобразования энергии излучения накачки в энергию излучения, поглощенного в АЭ. Модель квантрона может быть подвержена таким основным конструктивным изменениям, как: уменьшение или увеличение количества ЛДР в одном ряду вокруг АЭ; приближение ЛДР к АЭ; добавление системы сегментных отражателей, находящихся между ЛДР и АЭ или нанесенных тонким слоем на поверхность АЭ; добавление стеклянных цилиндров, применяемых в качестве собирающих линз; изменение концентрации примесных ионов Nd в лазерном кристалле YAG.

Список литературы

1. Кравцов Н. В., «Основные тенденции развития твердотельных лазеров с полупроводниковой накачкой. Квантовая электроника», (2001).
2. Koechner W., «Solid-State Laser Engineering», Berlin: Springer-Verlag (1999).
3. Zemax User's Manual.
4. Липницкая С. Н., А.Е.Р., Бауман Д. А., Бугров В. Е., «Моделирование оптических систем оптоэлектронных приборов, учебное пособие» (2019).