

УДК 621.373.826

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО КВАНТРОНА С ПОПЕРЕЧНОЙ ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ АКТИВНОЙ СРЕДЫ Nd<sup>3+</sup>:YAG

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

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук  
Москва, Российская Федерация*

**Аннотация.** На основе непоследовательной трассировки лучей в программе Zemax разработана математическая модель квантрона с поперечной диодной накачкой активной среды (АС) Nd<sup>3+</sup>:YAG. Рассчитаны распределение мощности поглощенного излучения накачки по поперечному сечению АС и эффективность поглощения излучения накачки. Проведена оптимизация конструкции квантрона, направленная на увеличение эффективности поглощения излучения накачки в АС. На основе экспериментально измеренной зависимости коэффициента усиления слабого сигнала от времени и временной зависимости тока накачки источников излучения разработана численная модель коэффициента усиления АС.

**Ключевые слова:** квантрон, эффективность поглощения, коэффициент усиления.

## MODELING OF A SOLID-STATE QUANTRON WITH TRANSVERSE DIODE PUMPING IN AN Nd<sup>3+</sup>:YAG ACTIVE MEDIUM

Galyuk K., Ovcharenko B., Bukin V., Ushakov A.

*Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences  
Moscow, Russian Federation*

**Abstract.** Based on non-sequential beam tracing in the Zemax program, a mathematical model of a quantron with transverse diode pumping of the Nd<sup>3+</sup>:YAG active medium (AM) has been developed. The power distribution of the absorbed pump radiation over the AM cross section and the absorption efficiency of pump radiation are calculated. The quantron design was optimized, aimed at increasing the absorption efficiency of pump radiation in the AM. Based on the experimentally measured gain dependence of a weak signal on time and the time dependence of the radiation sources pump current, a numerical model of the AM gain is calculated.

**Key words:** quantron, absorption efficiency, gain.

*Адрес для переписки: Галюк К.А., ул. Вавилова, 38, г. Москва 119333, Российская Федерация  
e-mail: karina272001@yandex.ru*

**Введение.** Твердотельные квантроны с поперечной диодной накачкой АС широко используются во многих областях науки и техники. Важными параметрами квантрона являются распределение мощности поглощенного излучения накачки по поперечному сечению АС, эффективность поглощения излучения накачки (отношение мощности поглощенного излучения накачки в АС к мощности излучения накачки), запасенная энергия в АС и коэффициент усиления. Создание математической и численной моделей квантрона позволяет оптимизировать конструкцию квантрона с улучшенными и необходимыми параметрами, а также проектировать динамические модели накачки АЭ со сложной циклограммой работы. Моделирование квантрона возможно проводить в программе Zemax методом непоследовательной трассировки лучей. В данной работе представлены результаты исследований, направленные на определение параметров и оптимизацию конструкции разработанной модели квантрона с поперечной диодной накачкой АС (кристалла Nd<sup>3+</sup>:YAG с 1 % концентрацией активных центров Nd<sup>3+</sup>). Целью работы является повышение эффективности и создание численной модели квантрона с поперечной диодной накачкой.

**Математическая модель квантрона.** В качестве исходной конструкции используется

квантрон [1], разрабатываемый и применяемый в ИОФ РАН, с источниками диодной накачки в виде лазерных диодных решеток (ЛДР) производства НПО «Инжент». Для создания в программе Zemax математической модели ЛДР рассчитана численная модель ЛДР и определены характеристики излучения (углы расходимости) с помощью экспериментально измеренного пространственного распределения интенсивности пятна излучения ЛДР, а также метода наименьших квадратов и найденной модельной функции (однозначной связи функции интенсивности  $I(x, y)$ , зависящей от координат, с функцией интенсивности  $I(\theta(x), \theta(y))$ , зависящей от углов):

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

$$f(\theta[x], \theta[y]) = A \frac{\text{Cos}(\theta[x])\text{Cos}(\theta[y])}{\sqrt{x^2 + m^2}\sqrt{y^2 + m^2}}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – углы расходимости XZ и YZ соответственно,  $\theta[x]$  и  $\theta[y]$  – углы наклона луча,  $m$  – расстояние от источника до экрана.

Создана модель ЛДР, которая содержит в себе рассчитанные угловые параметры излучения по быстрой и медленной осям, а также экспериментально измеренное спектральное распределение

плотности мощности излучения ЛДР. Для моделирования процесса поглощения излучения накачки в АС используется справочные данные спектрального распределения поглощения  $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ .

С помощью созданной математической модели квантрона получены распределения мощности поглощенного излучения накачки по поперечному сечению АС (рисунок 1).

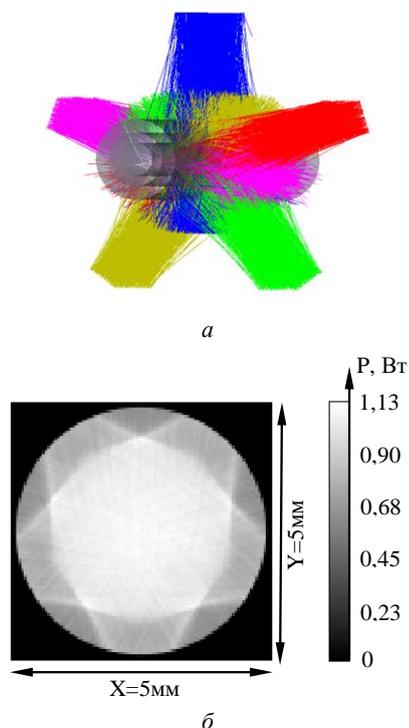


Рисунок 1 – Модель пятилучевой накачки  $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$  (Zemax): *a* – 3D модель; *б* – распределение поглощенной мощности излучения накачки по поперечному сечению  $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$

Проведена оптимизация конструкции квантрона, которая заключалась в изменении расстояния между ЛДР и центром АС, толщины и

диаметра трубки протока охлаждающей жидкости, добавлении различных конфигураций отражателей непоглощенного излучения накачки в АС и систем цилиндрических линз, фокусирующих излучение ЛДР. Найдена функция, описывающая влияние погрешности установки АС (смещения и поворота АС относительно центральной оси квантрона) на эффективность поглощения излучения накачки. На основе полученных результатов разработано несколько макетов квантрона с эффективностью поглощения в  $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$  примерно на 20 % выше, чем у изделий исходной конструкции.

**Коэффициент усиления.** Проведен эксперимент с квантроном, работающим в режиме усиления, по измерению временной формы коэффициента усиления слабого сигнала при различных амплитудах тока накачки ЛДР. С помощью временных зависимостей тока накачки и измеренного коэффициента усиления построена численная модель коэффициента усиления для режимов усиления и свободной генерации при различных значениях амплитуды тока накачки.

**Порог генерации.** Проведен эксперимент с квантроном, работающим в режиме свободной генерации, по измерению энергии и временной формы мощности лазерного излучения. Рассчитана временная зависимость коэффициента усиления с помощью численной модели и экспериментальной зависимости тока накачки ЛДР от времени. По полученным экспериментальной и расчетной зависимостям найдены соответствующие пороги генерации – моменты времени начала генерации лазерного излучения: при различных амплитудах тока накачки ЛДР.

#### Литература

1. Оптическая усилительная головка с диодной накачкой (варианты): патент RU 2597941 / А.А. Абышев, Ю.Д. Арапов, А.А. Гладили. – Оpubл. 20.09.2016.