

ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОКИХ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ УСИЛЕНИЯ СЛАБОГО СИГНАЛА ЛАЗЕРНЫХ МОДУЛЕЙ

Д. Д. Чесалин, В. Х. Багдасаров, В. В. Букин, С. В. Гарнов, Т. В. Долматов, Б. Д. Овчаренко, А. А. Ушаков

Институт общей физики им. А. М. Прохорова Российской академии наук (ИОФ РАН)

На сегодняшний день твердотельные лазеры широко используются во многих областях науки и техники, таких как военная техника, обработка материалов, медицина и многих других [1]. Наиболее перспективные направления развития связаны с использованием диодных источников накачки [2]. Ключевым вопросом при их разработке является разработка лазерного модуля (далее – квантрона) – конструктивно законченного узла, включающего источник излучения накачки, активный элемент и отражатель [3]. Основной задачей квантрона является создание необходимого распределения поглощенного излучения накачки в активном элементе. Одной из наиболее важных характеристик квантрона является коэффициент усиления (КУ) – отношение выходной мощности излучения к входной [4]. Для реализации различных распределений КУ используются квантроны с диодной накачкой цилиндрического активного элемента. Диодные источники накачки имеют сильную температурную зависимость спектра излучения ($0,25-0,3 \text{ нм/}^\circ\text{C}$) [5].

Целью работы является верификация измерения КУ методом с задающим генератором. Диагностика КУ квантрона необходима, так как теоретическое значение КУ квантрона, заложенное производителем, может не совпадать с его реальным значением. Рассмотрены два различных метода измерения КУ: метод с задающим генератором и генерационный метод. Анализ работ по данной тематике показал, что большинство работ посвящено лишь демонстрации полученных экспериментальных результатов КУ, измеренных методом с задающим генератором.

Квантрон изображен на рис. 1.

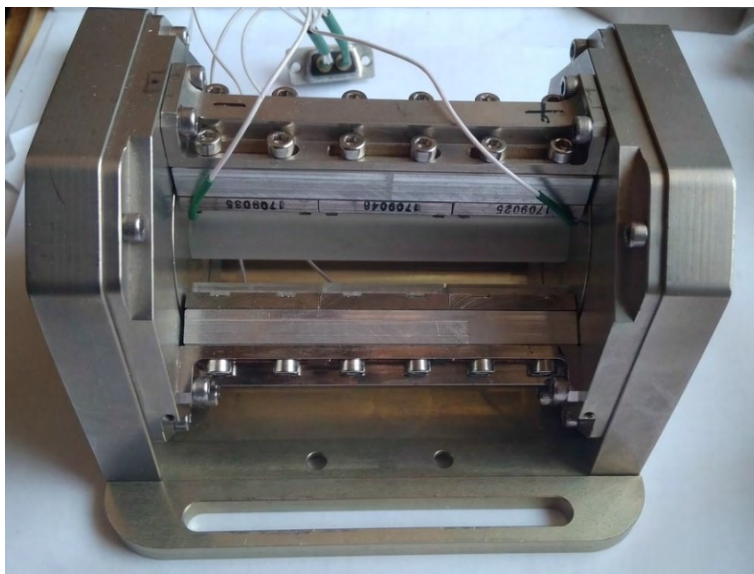


Рис. 1. Квантрон

В экспериментах было использовано 5 квантронов, отличающихся количеством матриц лазерных диодов и диаметром активного элемента. Значения параметров представлены в табл. 1.

Значения параметров квантронов

Диаметр активного элемента, мм	Количество матриц	Максимальная мощность, кВт
5	10	20
5	20	40
10	20	40
5	15	30
5	9	18

В методе с задающим генератором использовался квантрон, источник накачки и фотодиод, регистрирующий излучение. Источник излучения – непрерывный Nd:YAG лазер на длине волны 1064 нм. Без накачки выходная мощность, измеряемая на фотодиоде, постоянна. Длительность накачки 250 микросекунд, что соответствует времени жизни верхнего лазерного уровня Nd:YAG. Во время накачки выходная мощность возрастает экспоненциально. Максимальное значение выходной мощности будет в момент окончания накачки. Измеряемый КУ равен отношению максимальной выходной мощности в конце накачки к значению выходной мощности без накачки. Схема измерения с задающим генератором показана на рис. 2.

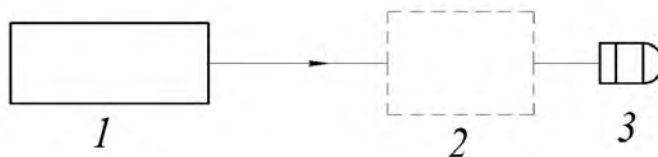


Рис. 2. Схема измерения КУ методом с задающим генератором: 1 – источник накачки; 2 – квантрон; 3 – фотодиод

Пик усиления активной среды Nd:YAG лазера узкий и составляет ~ 5 нм, поэтому даже небольшое отклонение по длине волны от этого пика способно существенно повлиять на значение КУ. Для получения наибольшего КУ необходимо, чтобы длина волны зондирующего лазера с высокой точностью попадала в пик усиления активной среды.

В отличие от метода с задающим генератором, измерение КУ генерационным методом не зависит от длины волны зондирующего лазера. Данный метод основан на зависимости между усилением в активной среде и потерями за один проход в резонаторе. Был создан оптический резонатор, состоящий из двух зеркал и нескольких фильтров. Суммарные потери в резонаторе менялись при использовании фильтров с различным коэффициентом пропускания, в результате чего менялось значение порогового тока генерации. Для фиксации генерации использовался специальный визуализатор. Схема измерения КУ генерационным методом показана на рис. 3.



Рис. 3. Схема измерения КУ генерационным методом: 1 – зеркала; 2 – квантрон; 3 – фильтры; 4 – визуализатор

Зависимость КУ от тока накачки для квантрона с 9 матрицами показана на рис. 4.

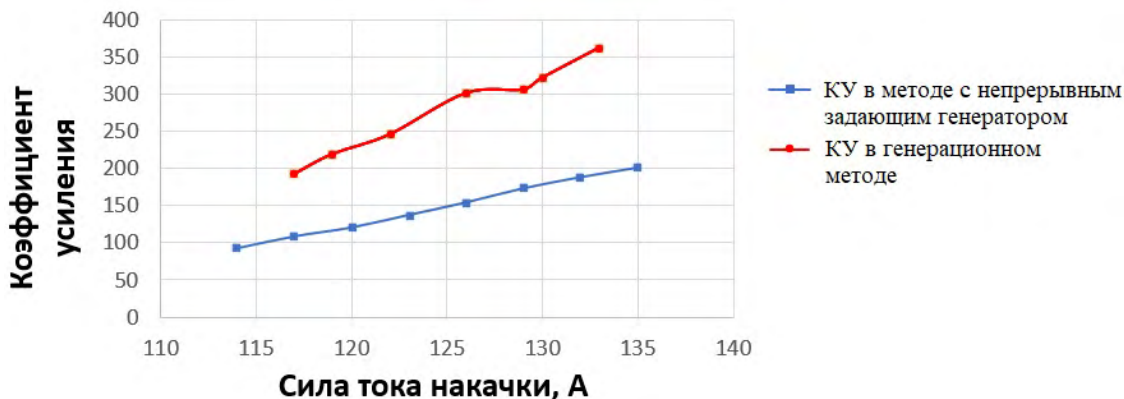


Рис. 4. Зависимость КУ от тока накачки в квантроне с 9 матрицами

При всех токах накачки значения КУ в генерационном методе больше, чем в методе с задающим генератором. В остальных квантронах КУ был измерен при одном значении тока накачки. Полученные результаты для них показаны в табл. 2.

Таблица 2

Полученные результаты

Тип квантрона	Усиление в генерационном методе	Усиление в методе с задающим генератором	Отношение логарифмов
Диаметр 5 мм 10 матриц	25	18	1,114
Диаметр 5 мм 20 матриц	25	18	1,114
Диаметр 10 мм 20 матриц фильтр 0,4	68,5	47	1,098
Диаметр 10 мм 20 матриц фильтры 0,1 и 0,3	93,34	61	1,103
Диаметр 5 мм 15 матриц фильтр 1,0	327	176	1,120

В табл. 2 можно увидеть, что разница отношений логарифмов достаточно низкая. Тогда при построении графика усиления в логарифмическом масштабе зависимость будет линейной. График КУ в логарифмическом масштабе в двух методах показан на рис. 5.

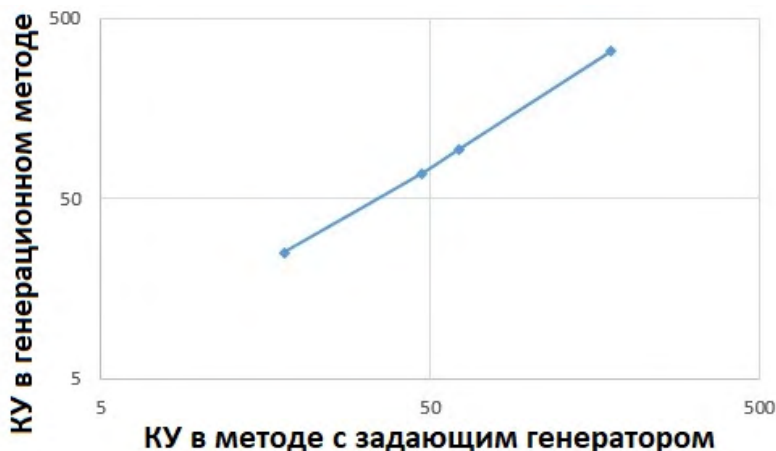


Рис. 5. График КУ в логарифмическом масштабе в двух методах

Были проведены измерения КУ методом с задающим генератором; был реализован генерационный метод измерения КУ. На всех квантронах значения усиления в генерационном методе оказались больше, чем в методе с задающим генератором. Отношение значений логарифмов КУ оказалось приблизительно постоянным и не зависимым от переменных параметров. В генерационном методе логарифмический КУ больше на 10 %, что дает существенную разницу при больших значениях КУ. Это необходимо учитывать в измерениях КУ методом с задающим генератором.

Список литературы

1. Koechner W. Solid-state laser engineering. Sixth revised and updated edition. New York: Springer, 2006. P. 750.
2. Barnes N. P. Solid-state lasers from an efficiency perspective // IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics. 2007. V. 13. N 3. P. 435–447.
3. Гречин С. Г., Николаев П. П. Квантроны твердотельных лазеров с поперечной полупроводниковой накачкой // Квантовая электроника, 2009. 39:1, 1–17 [Quantum Electron., 2009. 39:1. 1–17].
4. Svelto O. Polytechnic Institute of Milan and National Research Council. Principles of lasers, fifth edition. Springer Science + Business Media, 2010.
5. Bachmann F., Loosen P., Poprawe R. High power diode lasers: Technology and applications. New York: Springer, 2007. P. 554.