

ОПТИЧЕСКАЯ УСИЛИТЕЛЬНАЯ ГОЛОВКА С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

*В. Х. Багдасаров, В. В. Букин, С. В. Гарнов, Т. В. Долматов, Н. А. Кудашева,
Б. Д. Овчаренко, В. Б. Цветков*

Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН

В Институте общей физики им. А. М. Прохорова Российской академии наук на протяжении нескольких последних лет разрабатываются мощные оптические усилительные головки с импульсной диодной накачкой (далее квантрон) [1] и различными твердотельными активными средами (алюмо-иттриевый гранат, алюминат иттрия, фосфатное стекло) под определенные задачи. В лазерных установках разрабатываемые квантроны используются как в задающих генераторах (внутри резонатора), так и в качестве усилителей (вне резонатора) и к ним предъявляются, соответственно, различные требования. Каждая из вышеперечисленных активных сред обладает своими характерными особенностями в плане генерации и накачки, которые прямым образом влияют на работу квантрона в лазерной установке. Для решения наших задач, в основном, использовались лазерные установки с длиной волны генерации 1064 нм, поэтому в разрабатываемых нами квантронах применялась наиболее распространенная активная среда из алюмо-иттриевого граната, легированного неодимом Nd:YAG. Именно в квантронах с Nd:YAG активной средой удалось широким образом отработать технологии и методики, а также выработать приличный научно-технический задел для создания подобного рода изделий. Поэтому в дальнейшем речь пойдет о квантронах с активной средой из алюмо-иттриевого граната.

Квантрон состоит из двух основных элементов: источник накачки (лазерные диодные решетки) и источник поглощения этой накачки - твердотельный активный элемент, имеющий форму цилиндра (причем, цилиндрический активный элемент может иметь далеко не гладкую или с большой шероховатостью боковую поверхность). Лазерные диодные решетки (ЛДР) располагаются вокруг и вдоль боковой поверхности активного элемента (АЭ), осуществляя его поперечную накачку, а геометрические размеры АЭ, обычно, находятся в диапазоне от 3 до 10 мм в диаметре и от 80 до 180 мм по габариту длины. Для управления и подстройки спектральных характеристик излучения ЛДР и поглощения в АЭ, а также для отведения тепловыделений в квантроне реализована система жидкостного охлаждения. Квантрон имеет две основные выходные характеристики – временная форма коэффициента усиления и его распределение по сечению АЭ (или распределение люминесценции по сечению АЭ). В зависимости от требуемого коэффициента усиления, а также его распределения по сечению АЭ применяются, в основном, две схемы накачки боковой поверхности. В качестве примера на рис. 1 представлены трёх- и пятилучевая схемы накачки [2].

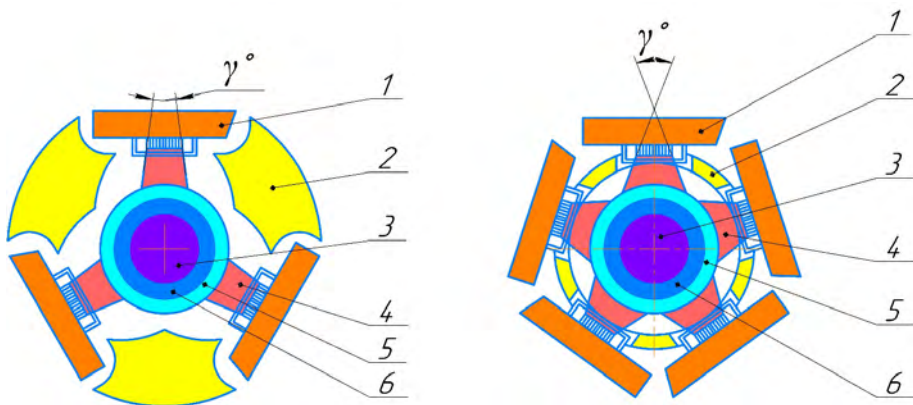


Рис. 1. Схемы накачки: 1 – ЛДР; 2 – отражатель; 3 – АЭ; 4 – излучения ЛДР; 5 – трубка; γ – расходимость излучения накачки; 6 – хладагент

Для достижения больших значений коэффициентов усиления в АЭ квантрона вкладываются десятки кВт оптической мощности накачки, что вызывает объемный нагрев активной среды [3] и приводит к образованию паразитной генерации внутри АЭ, которая поглощает значительную часть инверсии населенности. Кроме того, при накачке может происходить насыщение усиления в активной среде. Перечисленные дефекты крайне негативно влияют на работу квантрона, т. к. при определенной накачке происходит ограничение коэффициента усиления и при дальнейшем увеличении энерговклада в АЭ коэффициент усиления не растет. Рассчитать теоретический коэффициент усиления не составляет особого труда, если знать свойства активной среды, её геометрические размеры, а также сколько энергии нужно запасти в ней, но предсказать появление негативных факторов, влияющих на работу квантрона, достаточно трудно. Поэтому основной задачей при разработке и создании квантрона является уменьшение влияния вышеперечисленных дефектов.

Существует два способа, которые помогают снять ограничение коэффициента усиления и повысить его в несколько раз. Первый способ основан на геометрической модификации боковой и торцевой поверхностей активного элемента, а второй способ связан с удельным коэффициентом усиления и направлен на оптимизацию вкладываемой энергии в единицу объема активной среды.

На рис. 2 показаны примеры зависимостей коэффициента усиления от тока накачки, где видно, что при определенной токовой накачке происходит ограничение коэффициента усиления и при дальнейшем увеличении энерговклада он не растет. Это означает, что при работе квантрона присутствуют дефекты, при которых происходит насыщение активной среды, а также поглощение инверсии населенности паразитной генерацией. Для сравнения показаны и зависимости, на которых видно, что уменьшение влияния этих дефектов приводит к снятию ограничения коэффициента усиления, а также к его значительному повышению при одинаковых энерговкладах, но в этом случае происходит изменение наклона кривой так, что при ограниченном коэффициенте усиления на меньшей токовой накачке можно получить больший коэффициент усиления.

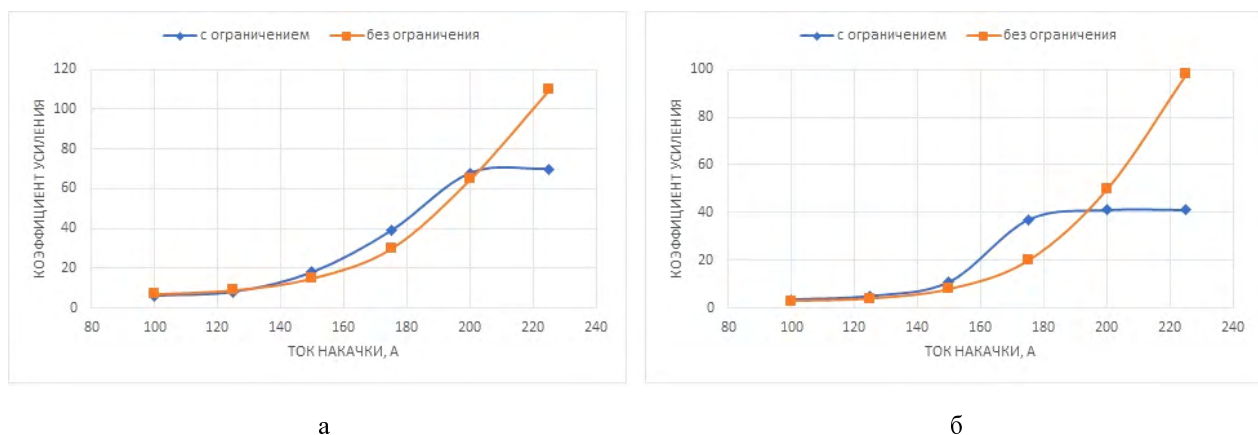


Рис. 2. Зависимость коэффициента усиления от токовой накачки: а – квантрон с размерами АЭ Ø5×120 мм; б – квантрон с размерами АЭ Ø10×160 мм

Если говорить о второй основной выходной характеристике квантрона, то и здесь всё не так однозначно, т.к. несмотря на оптимизированную рассчитанную схему накачки, а также наличие в конструкциях квантронов отражающих элементов, распределение люминесценции в квантроне может иметь значительную неоднородность (выпуклый или вогнутый профиль на рис. 3, а и 4, а). При использовании квантрона в задающих генераторах с системой модуляции и вырезании одной моды, принудительное концентрирование энергии в центре АЭ (выпуклый профиль на рис. 3, а) является необходимым условием для достижения определенного уровня энергии в импульсе. В остальных случаях такие выпуклые или вогнутые профили могут появляться сами собой в результате тепловых дефектов, которые создают большой градиент температур от центра АЭ к его краю или наоборот и простым подбором температуры хладагента эту проблему не решить. Поэтому при использовании квантрона в качестве усилителя (вне резонатора) подобные профили распределений являются

неприемлемыми. Соответственно, уменьшая влияние тепловых дефектов в АЭ возможно в значительной степени улучшить однородность распределения люминесценции (рис. 3, б и рис. 4, б).

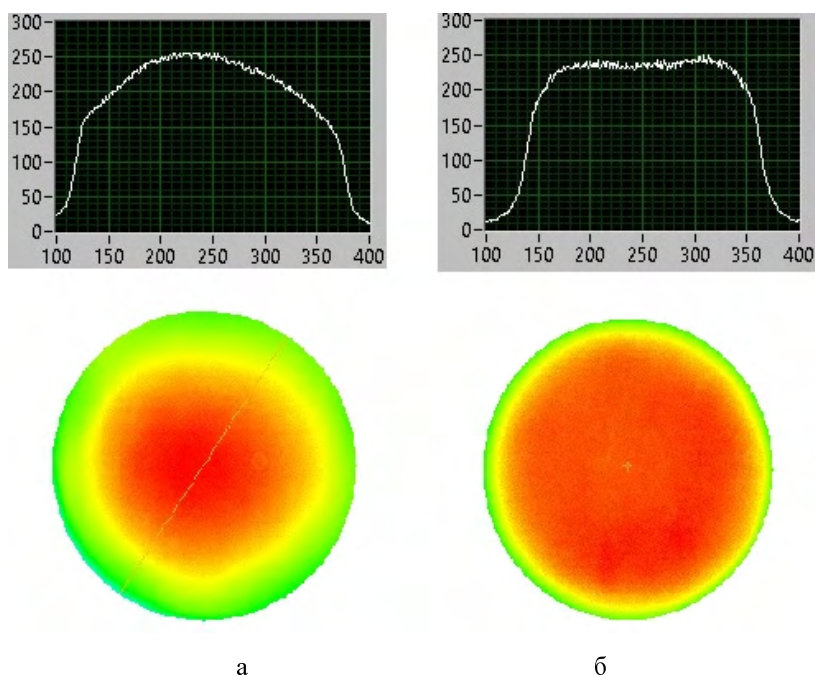


Рис. 3. Пример распределения люминесценции в квантоне с профилем по сечению и размером АЭ $\varnothing 5 \times 120$ мм: а – однородность ~ 55 % (выпуклый профиль); б – однородность ~ 92 %

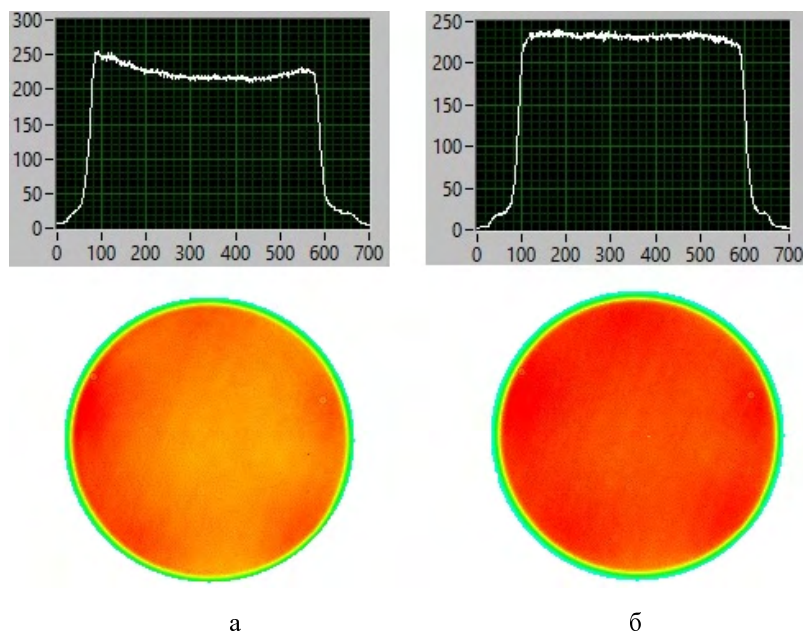


Рис. 4. Пример распределения люминесценции в квантоне с профилем по сечению и размером АЭ $\varnothing 10 \times 160$ мм: а – однородность ~ 70 % (вогнутый профиль); б – однородность ~ 95 %

Тем самым, в Институте общей физики им. А. М. Прохорова Российской академии наук созданы несколько типов мощных импульсных оптических усилительных головок с диодной накачкой для определенных задач, разработаны материальная и научно-техническая базы для проектирования и создания подобных изделий, а также их правильной отладки и диагностики.

Список литературы

1. Глухих И. В., Димаков С. А., Курунов Р. Ф., Поликарпов С. С., Фролов С. В. Мощные твердотельные лазеры на Nd:YAG с поперечной диодной накачкой и улучшенным качеством излучения // ЖТФ. 2011. Т. 81. № 8.
2. Гречин С. Г., Николаев П. П. Квантроны твердотельных лазеров с поперечной полупроводниковой накачкой // Квантовая электроника. 2009. Т. 39. № 1.
3. Архипов Д. А., Венглюк В. И., Деревченко В. А., Егоров М. С., Резунков Ю. А., Степанов В. В. // Оптимизация рабочих характеристик твердотельного лазера с диодной накачкой для космических применений // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. № 6.