

УДК 621.375.8

А.С.Наривончик (6 курс, каф. КЭ), С.Н.Карпунин, к.ф.-м.н., с.н.с. ЗАО «Юпитер-Z»

УСИЛЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ В УСИЛИТЕЛЕ НА КРИСТАЛЛЕ ИЛФ, АКТИВИРОВАННОМ ТРЕХВАЛЕНТНЫМИ ИОНАМИ НЕОДИМА С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

ABSTRACT: The amplification of short laser pulses in the YLF: Nd³⁺ crystal pumped by the laser diode arrays is considered. Numerically calculated dependence of output energy versus input energy with different beam diameters is presented. This representation gives an opportunity for optimizing of the parameters of an amplifier to get maximum power.

При генерации в резонаторе, когда необходимо получить расходимость лазерного излучения близкую к дифракционной, используют одномодовый режим, путем ограничения поперечных размеров внутрирезонаторного пучка. Это не позволяет получать большие выходные мощности, вследствие эффекта оптического пробоя активной среды. Для дальнейшего увеличения выходной энергии без ухудшения дифракционного качества пучка применяют усилители.

В данной работе производилось численное моделирование процесса усиления наносекундных импульсов в кристалле ИЛФ:Nd³⁺ с накачкой полупроводниковыми лазерными линейками. Целью данного моделирования являлся подбор оптимального диаметра входного пучка для получения максимальной выходной энергии.

Выбор кристалла ИЛФ для усилителя обусловлен тем, что кристалл обладает рядом преимуществ для систем с полупроводниковой накачкой. Известно, что ИЛФ имеет в два раза большее время жизни, чем АИГ. Поскольку лазерные диоды обладают ограничениями по мощности, то вдвое большее время накачки, возможное благодаря большему времени жизни активных ионов в ИЛФ, позволяет получать больший запас энергии от того же числа диодов.

Процесс усиления основывается на процессе запаса энергии на верхнем лазерном уровне, предшествующем прохождению входного сигнала. По мере прохождения импульса через усилитель, происходит процесс индуцированного сброса инверсной населенности. При усилении наносекундных импульсов эффектами флюоресценции можно пренебречь, поскольку инверсную населенность в данном случае можно считать «замороженной» (время жизни активных ионов на метастабильном уровне в кристалле YLF₄ при концентрации Nd³⁺ 1% составляет 480 мкс [2]). В таком случае имеем следующее уравнение для инверсной населенности [1]:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\gamma n \sigma \phi, \quad (1)$$

где ϕ – объемная плотность количества фотонов; $\gamma=1$ для четырехуровневой системы; $\sigma = 1.8 \cdot 10^{-19} \text{ см}^2$ – сечение перехода кристалла ИЛФ: Nd³⁺ для π -поляризации [1]. Процесс

нарастания импульса в среде с инверсной населенностью описывается нелинейным уравнением переноса:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = c n \sigma \phi - \frac{\partial \phi}{\partial x} c. \quad (2)$$

Эти два уравнения образуют систему нелинейных дифференциальных уравнений. Система допускает аналитическое решение, описываемое формулой (3) [1]. Причем результат не зависит от формы входного импульса. Выражение представлено в виде связи между величинами плотности входной w_{in} , выходной w_{out} и удельной запасенной в активном элементе энергии $w_{st} \cdot l$:

$$\frac{\exp(w_{out} / w_s) - 1}{\exp(w_{in} / w_s) - 1} = \exp(w_{st} \cdot l / w_s), \quad (3)$$

где l – длина активного элемента;

$w_s = \frac{h\nu}{\sigma\gamma}$ – плотность энергии насыщения.

На рис. 1. приведена схема усилителя. Для эффективного элемента используется схема с z-образным» ходом луча. Активный элемент накачивается шестью лазерными линейками. Мощность каждой линейки – 300 Вт при длительности импульса 400 мкс. Используя соотношение(3), производилась численная оценка выходного сигнала усилителя при различных размерах входного пучка d . Результаты расчетов представлены на рис. 2 в виде зависимостей при $d = 1; 2; 3; 4$ мм. (зависимости 1, 2, 3, 4 соответственно).

Полученные зависимости имеют наглядный физический смысл. Слабый сигнал с большей апертурой усиливается хуже, поскольку в (1) в экспоненте стоит плотность входной энергии. При больших входных энергиях происходит перенасыщение, и поэтому лучше усиливаются сигналы с меньшей плотностью энергии, т.е. с большим диаметромпучка d .

С одномодового генератора а ИЛФ, в условиях аналогичной поперечной накачки, удастся энергию импульса порядка 10 мДж при диаметре пучка 1мм. Из рис. 2 видно, что при такой энергии оптимальный размер пучка в усилителе составляет 2-3 мм. Поэтому между генератором и усилителем должен быть установлен согласующий телескоп с кратностью порядка 2,5. Таким образом, максимальная выходная энергия усилителя может составить около 120 мДж при указанных выше параметрах и геометрии накачки.

С одномодового генератора а ИЛФ, в условиях аналогичной поперечной накачки, удастся энергию импульса порядка 10 мДж при диаметре пучка 1мм. Из рис. 2 видно, что при такой энергии оптимальный размер пучка в усилителе составляет 2-3 мм. Поэтому между генератором и усилителем должен быть установлен согласующий телескоп с кратностью порядка 2,5. Таким образом, максимальная выходная энергия усилителя может составить около 120 мДж при указанных выше параметрах и геометрии накачки.

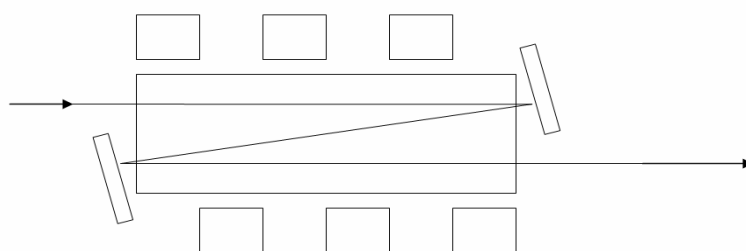


Рис. 1. Оптическая схема усилителя.

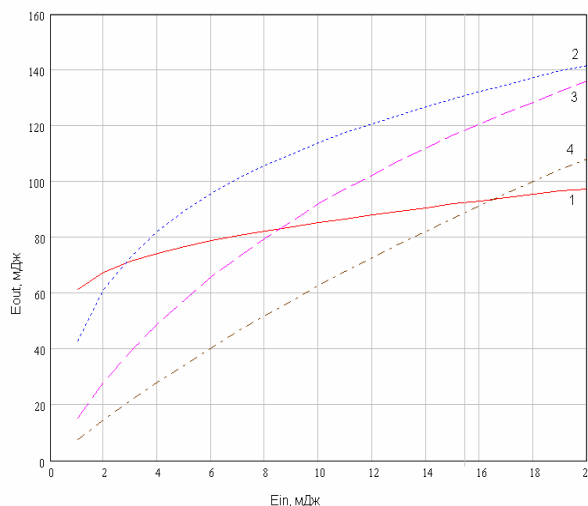


Рис. 2. Результаты расчетов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. W. Koechner Solid-State Laser Engineering 5th edition.

2. Г.М. Зверев, Н.Д. Голяев Лазеры на кристаллах и их применение. – М.: Радио и связь 1994 -312с.