

Лазерный усилитель на «тонком стержне» из Yb:YAG

Сегодня наиболее популярными лазерами, применяемыми в промышленности, медицине и телекоммуникациях являются волоконные лазеры. Они надежно и стабильно работают благодаря отсутствию прецизионных юстировочных элементов и способны достигать рекордно высокой средней мощности. Однако, такие лазеры не могут работать при высокой пиковой мощности. Дело в том, что диаметр волокна составляет несколько десятков микрон. Когда импульс с большой пиковой мощностью проходит через такую малую площадь, в волокне могут возникать паразитные нелинейные эффекты, приводящие не только к ухудшению качества лазерного излучения, но и разрушению самого волокна. Это принципиальное ограничение, которое существенно сужает область применимости волоконных лазеров. Перспективным решением этой проблемы является разработка твердотельных лазерных усилителей, обладающих высоким усилением и способных работать при высокой средней и пиковой мощности. При этом усилители должны быть также надежны и стабильны, поэтому должны иметь простую оптическую схему и не подвергаться влиянию тепловых эффектов. Данная технология сейчас активно разрабатывается во всем мире как в научных коллективах, так и в коммерческих компаниях. В качестве лазерной среды почти всегда используют кристалл алюмоиттриевого граната, легированного ионами иттербия (Yb:YAG). Усилия ученых направлены на поиск оптимальной геометрии активного элемента и схемы усилителя. На сегодняшний день одним из лучших является усилитель на тонком стержне, производимый французской компанией Fibercryst. Усилитель представляет собой тонкий кристаллический стержень (диаметр 1 мм, длина > 3 см), охлаждаемый с боковой стороны. Излучение диодной накачки распространяется вдоль него как в волокне, многократно отражаясь от боковой поверхности, а усиливаемое лазерное излучение распространяется свободно, как в обычном твердотельном усилителе. Таким образом, активный элемент представляет собой гибрид, т.е. имеет «переходную геометрию» между традиционным волокном и традиционным кристаллическим стержнем. Однако, для достижения оптимальных параметров такие усилители должны работать с двухпроходной оптической схемой накачки и усиления, что заметно усложняет их конструкцию. В противном случае распределение мощности накачки и мощности сигнала вдоль кристалла будет сильно неоднородным, что ограничивает коэффициент усиления устройства и эффективность извлечения запасаемой мощности.

Сотрудники отдела диагностики оптических материалов для перспективных лазеров ИПФ РАН Кузнецов И.И., Вадимова О.Л., Мухин И.Б., Палашов О.В. вместе с К.-И. Уэда (University of Electro-Communications, Japan)) разработали новую концепцию твердотельного лазерного усилителя, которая лишена вышеперечисленных недостатков – усилитель на основе тонкого конического стержня из кристалла Yb:YAG. Усилитель представляет собой кристалл Yb:YAG, изготовленный в форме тонкого усеченного конуса (диаметр меньшего торца ~ 0.3 мм, диаметр большего торца ~ 1 мм, длина ~ 3 см), охлаждаемый с боковой стороны. Излучение диодной накачки заводится в кристалл со стороны большего торца и распространяется в нем волноводным образом. По мере распространения в кристалле мощность излучения накачки из-за поглощения уменьшается, но и площадь сечения кристалла тоже уменьшается, прижимая излучение накачки ближе к оси кристалла. Благодаря этому, интенсивность накачки вдоль кристалла остается практически неизменной и создается равномерное распределение погонного усиления. Усиливаемое лазерное излучение заводится в кристалл со стороны меньшего торца и распространяется свободно. Мощность усиливаемого лазерного излучения по мере распространения в кристалле растет, но и площадь сечения кристалла тоже растет. Из-за этого интенсивность усиливаемого излучения почти не меняется вдоль кристалла, что приводит к увеличению эффективности извлечения запасаемой мощности при использовании простой однопроходной схемы.

Представленный лазерный усилитель был создан на основе разработанных в ИПФ РАН технологий. В результате экспериментального сравнения с ближайшим аналогом – усилителем на тонком стержне из Yb:YAG была продемонстрирована возможность увеличения коэффициента усиления почти в 2 раза. Усилитель способен работать при высокой средней мощности (~ 100 Вт) и обеспечивать большую энергию импульсов (~ 1 мДж). При этом он имеет простую однопроходную оптическую схему, что делает его максимально надежным. Созданный усилитель является уникальным. Благодаря своей простоте он может быть легко интегрирован в оптическую схему любого лазера. Его использование позволит увеличить мощность и энергию импульсов волоконных лазеров в десятки раз, сохранив их отличную стабильность и компактность.

*аспирант Кузнецов И.И,
с.н.н, к.ф.-м.н. Мухин И.Б.,
заведующий отделом к.ф.-м.н. Палашов О.В.*



Общий вид усилителя



Активный элемент - тонкий конический стержень