

Полностью волоконный конусный иттербиевый усилитель с накачкой через боковую поверхность

**Е.К. Михайлов^{1,*}, А.Е. Левченко¹, В.В. Вельмискин¹, Т.С. Заушицина¹,
Д.С. Липатов², А.В. Ширманкин³, В.А. Камынин³, М.Е. Лихачев¹**

¹Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук,
Научный центр волоконной оптики им. Е.М. Дианова

²Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых РАН

³Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук

* E-mail: egor.mikhailov@fo.gpi.ru

DOI:10.31868/RFL.2024.53-54

Активные световоды с увеличенным диаметром поля моды являются ключевым элементом конструкции импульсных лазеров, так как позволяют обеспечить высокий порог нелинейных эффектов и, соответственно, высокую пиковую мощность. Конусные световоды (КС), диаметр сердцевины и оболочки которых плавно меняется вдоль их длины, представляют собой один из наиболее перспективных дизайнов таких световодов. Использование КС позволяет сохранять одномодовый режим работы при выходном диаметре сердцевины до 100 мкм, при условии, что сигнал вводится в тонкий одномодовый конец световода. С помощью КС продемонстрированы рекордные значения пиковой мощности в системах с волоконным вводом сигнала [1]. В то же время, такие системы используют ввод накачки навстречу распространению сигнала, что приводит к необходимости использования объемной оптики.

Цель настоящей работы заключается в реализации и оптимизации полностью волоконного усилителя с вводом накачки через боковую поверхность на основе КС, легированного иттербием. Нами использовался КС длиной ~2 м и аналогичный представленному в [1] (диаметр сердцевины достигал 40 мкм на толстом конце). В качестве сигнала использовалось излучение на длине волны 1064 нм и мощностью 50 мВт. Ввод накачки осуществлялся путем физического контакта боковых поверхностей жил накачки и активного световода (рис.1 (а)). Зона контакта располагалась на расстоянии ~5-10 см от выходного торца КС. Так как активный световод имел вторую оболочку, легированную фтором, она была предварительно стравлена плавиковой кислотой на участке длиной 7 см. Для увеличения эффективности перекачивания излучения накачки жилы имели локальную биконическую структуру. Уменьшение диаметра приводит к увеличению числовой апертуры и снижению отношения площадей поперечного сечения жилы и активного световода, что позволяет более эффективно перекачивать накачку в активный световод. Жилы накачки изготавливались из кварц-полимерного световода диаметром 125 мкм, а требуемый профиль диаметра достигался при растягивании жилы в процессе нагрева с помощью установки Vytran GPX 3400 или травлением в плавиковой кислоте.

Ранее такой подход уже был реализован в работе [2]. Накачка от двух лазерных диодов, работающих на длине волны 976 нм и суммарной мощностью 28 Вт вводилась в три жилы диаметр которых уменьшался до ~30 мкм (по диоду на жилу, а в третью через объединитель накачки вводилось остаточное излучение от первых двух жил). Жилы были получены травлением. Для фиксации они покрывались полимером с показателем преломления, меньшим чем у световодов. В такой конфигурации эффективность ввода накачки составила ~75% и позволила получить 9,1 Вт сигнала с пиковой мощностью 0,53 МВт. Дальнейшее увеличение

средней мощности осложнялось сгоранием полимерного покрытия области контакта или самого КС.

В настоящей работе было проведено более детальное исследование данного подхода. Для простоты предварительные эксперименты проводились с одной жилой при помощи которой накачка вводилась в пассивный цилиндрический световод (с полимерным покрытием, обеспечивающим апертуру более 0,45 и с отражающим слоем из фторированного кварцевого стекла, обеспечивающим апертуру 0,26). Полимер для фиксации не использовался, чтобы исключить его сгорание при работе с большими мощностями излучения накачки. При использовании пассивного кварц-полимерного световода диаметром 800 мкм мы получили эффективность ввода 91% при 100 Вт накачки, а при использовании кварц-кварцевого световода со фторированной второй оболочкой – 76%. Таким образом эффективно вводится в сигнальную жилу лишь накачка с относительно большой апертурой, что приводит к снижению эффективности ввода в кварц-кварцевый световод. Ситуация усугубляется в КС, диаметр которого постепенно уменьшается, что дополнительно увеличивает апертуру накачки и ее вытекание из первой отражающей оболочки. Увеличение диаметра талии жил накачки до 60 мкм способствует уменьшению апертуры накачки. Используя ввод накачки мощности до 100 Вт через боковую поверхность КС, мы смогли достичь 24 Вт средней мощности усиленного сигнала (при этом объединитель накачки и сигнала не сгорал, рис. 1(б)). Однако эффективность ввода при этом снизилась до 41%. Стоит отметить, что в указанной конфигурации около 20 Вт накачки оставалось в жиле, и ввод остаточного излучения через дополнительную жилу, аналогично [2], может повысить эффективность до 50%. Мы полагаем, что более низкая максимальная эффективность обусловлена отсутствием фиксирующего полимера в зоне контакта, нагрев которого по всей видимости приводил к нелинейному характеру эффективности (при высокой мощности эффективность ввода вырастала) в работе [2]. Более детально результаты исследований будут представлены на конференции.

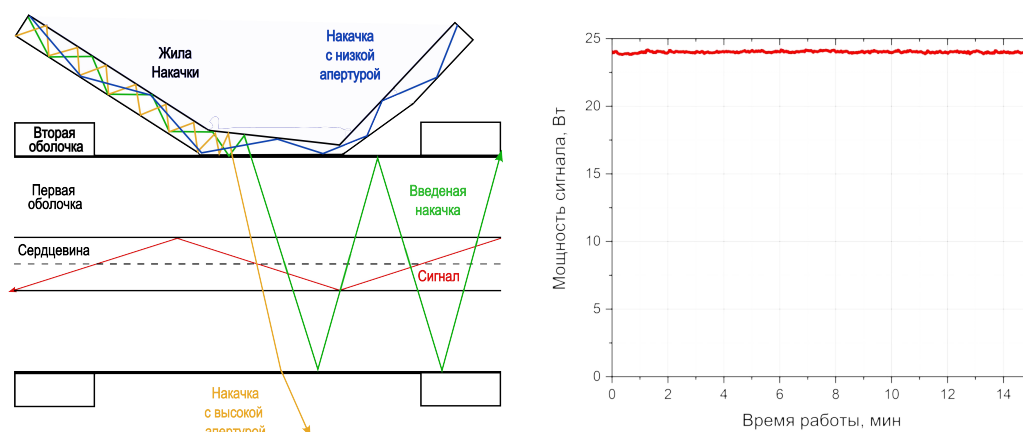


Рис. 1. (а) Схема ввода накачки в КС. (б) Тест стабильности выходной мощности

Литература

- [1] K. Bobkov, A. Andrianov, et al, *Opt. Express* **25**, 26958-26972 (2017)
- [2] K. Bobkov, A. Levchenko, et al, *Photonics* **9**(10), 771 (2022)