

Одномодовый Er-Yb волоконный усилитель с большим диаметром поля моды

**М.М. Худяков^{1,2,*}, С.С. Алёшкина¹, Т.А. Кочергина¹, К.К. Бобков¹, А.С. Лобанов³,
Д.С. Липатов³, А.Н. Абрамов³, А.Н. Гурьянов³, М.М. Бубнов¹, М.Е. Лихачёв¹**

¹Научный центр волоконной оптики РАН

²Московский физико-технический институт (государственный университет)

³Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девятовых РАН

*E-mail: DAngEL.74@gmail.com

DOI:10.31868/RFL2018.65-66

Эрбий-иттербиевые волоконные световоды являются одним из ключевых элементов в современных линиях связи и лазерных системах, где требуется достижение средней мощности на уровне от сотен мВт до единиц Вт. Сердцевина в таких световодах изготавливается на основе кварцевого стекла, легированного высокими концентрациями оксида фосфора (10-15 мол.%), что обусловлено высокой эффективностью передачи возбуждения от атомов иттербия к атомам эрбия в такой стеклянной матрице. В то же время высокий уровень легирования оксидом фосфора приводит к росту числовой апертуры сердцевины до уровня ~ 0.2 . Условие одномодовости световода на рабочей длине волны 1550 нм требует в этом случае изготовления сердцевины с относительно малым диаметром, порядка 5-7 мкм. Так как эрбий-иттербиевые лазеры и усилители накачиваются по оболочке, малое соотношение диаметра сердцевины к диаметру оболочки приводит к снижению скорости поглощения накачки и увеличению эффективной длины активного световода. Малый диаметр сердцевины и большая длина активного световода являются причинами низкого порога нелинейных эффектов. Как следствие стандартные конструкции эрбий-иттербиевых световодов практически не используются при усилении сигнала в импульсных лазерах. Наиболее успешная попытка увеличения пиковой мощностью эрбий-иттербиевых усилителей является работа [1], в которой был использован активный световод из фосфатного стекла с сердцевиной диаметром 25 мкм легированной 15 вес.% иттербия и 3 вес.% эрбия и была продемонстрирована пиковая мощность 128 кВт с дифференциальной эффективностью 1,6%. Однако, использование фосфатных световодов связано большими трудностями, связанными с их изготовлением и несовместимостью с волоконными схемами на основе кварцевого стекла. Таким образом, для использования эрбий-иттербиевых световодов при усилении излучения с высокой пиковой мощностью перспективнее выглядит подход оптимизации стеклянной матрицы сердцевины, а именно уменьшение разности показателей преломления между сердцевиной и оболочкой при одновременном сохранении высокой концентрации оксида фосфора в сердцевине. Одной из реализаций данного подхода является создание "пьедестала" с повышенным показателем преломления вокруг сильно легированной сердцевины для сохранения малой числовой апертуры. В данном случае в зависимости от конструкции усилителя была продемонстрирована дифференциальная эффективность от 5% до 46% [2,3]. Проблемой данного метода является трудность реализации самого световода (и как следствие его высокая стоимость), а так же сложности реализации одномодового режима работы в силу дополнительной волноволновой структуры – в большинстве работ авторы использовали ввод сигнала при помощи объемной оптики для согласования выборочного возбуждения основной моды. В настоящей работе

предлагается совместное легирование сердцевины оксидом фосфора и фтором, для сохранения низкой числовой апертуры и высокой эффективности передачи возбуждения от атомов иттербия атомам эрбия.

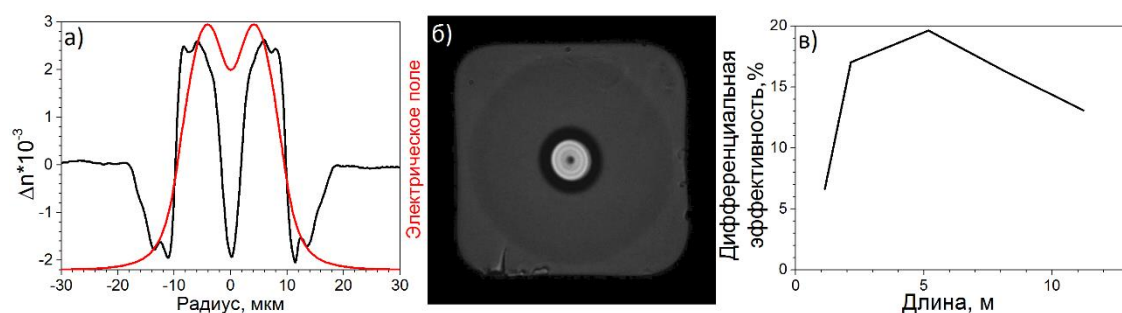


Рис.1. а) Профиль показателя преломления световода и распределения поля фундаментальной моды; б) Фотография торца световода; в) Зависимость дифференциальной эффективности от длины световода.

Заготовка для световода представленного в данной работе была изготовлена MCVD методом. Сердцевина была легирована 5 мол.% оксида фосфора, 0,5 вес.% фтора, 0,9 вес.% иттербия и $\sim 0,001$ вес.% эрбия. Заготовка была сполирована до формы квадрата и вытянута с внешними размерами 119×119 мкм. Профиль показателя преломления, распределения поля фундаментальной моды и фотография торца световода представлены на Рис.1а) и б). Оценочная отсечка второй моды равнялась 1658 нм, то есть слегка изогнутый (с диаметром 40 см) световод работал в одномодовом режиме.

Полученный световод был протестирован в схеме усилителя, на вход которого подавалось вплоть до 0,6 Вт непрерывного сигнала на длине волны 1557 нм. Накачка осуществлялась многомодовым стабилизированным лазерным диодом с длиной волны 976 нм и мощностью до 25 Вт через объединитель сигнала и накачки 2+1 в 1. Выходной торец световода скалывался под углом для подавления генерации в области 1 мкм. Дихроичное зеркало (1550/976) и помещение выходного конца световода в иммерсию использовались для определения мощности усиленного сигнала, распространяющегося по сердцевине и оценки паразитной генерации ионов иттербия в области 1 мкм. Измеренная зависимость дифференциальной эффективности от длины световода представлена на Рис.1 в). При максимальной накачке (25 Вт) доля мощности вблизи 1 мкм составляла не более 1% от выходной мощности. Таким образом максимальная дифференциальная эффективность была измерена на 5 м световода и составила 19,6% при максимальной выходной мощности 5 Вт. В схеме лазера максимальная дифференциальная эффективность составила 29%.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-13-01343.

Литература

- [1] E. Petersen, W. Shi, et al., *Appl. Opt.*, **51**, 531, (2012)
- [2] O. DE Varona, W. Fittkau, et al., *Opt. Express*, **25**, 2634–2636, (2017)
- [3] Z. Zhao, H. Xuan, et al., *Opt. Express*, **23**, 29764, (2015)