

Эффект насыщения выходной мощности волоконных Er-Yb лазеров

А.А. Сурин^{1,*}, Н.В. Коваленко^{1,2}

¹НТО "ИРЭ-Полус", Фрязино

²Московский Физико-Технический Институт (ГУ), Москва

*E-mail: aSurin@ntoire-polus.ru

DOI: 10.31868/RFL2020.63-64

Одним из эффектов, ограничивающих выходную мощность излучения, которую можно получить в лазерах на основе эрбиевых и иттербий-эрбиевых активных сред является насыщение, теоретически предсказанное в работах [1,2]. В обеих работах эффект объясняется существованием «узкого места», ограничивающего передачу возбуждения накачки к рабочему уровню. В работе [1] сказано, что для чисто эрбиевых сред таким местом является переход между уровнями $^4I_{11/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$. Для иттербий-эрбиевых сред в более общем виде ограничением является скорость передачи возбуждения от Yb к уровню $^4I_{13/2}$ Er [2].

В данной работе впервые, по мнению авторов, представлены экспериментальные наблюдения данного эффекта в лазере на Yb-Er волокне, а также теоретически выведена формула для оценки мощности насыщения, расчёт по которой согласуется с экспериментальными результатами.

На рис.1 приведена оптическая схема эксперимента. Было собрано 3 лазера, по представленной оптической схеме, состоящей из иттербий-эрбиевого активного волокна, волоконных брэгговских решеток и волоконного поляризатора. Весь оптический тракт собран на волокне, поддерживающем поляризацию. Параметры используемых активных волокон приведены в таб.1. Накачка лазеров производилась на длинах волн 1065 и 1070 нм одномодовым излучением в сердцевину активного волокна.

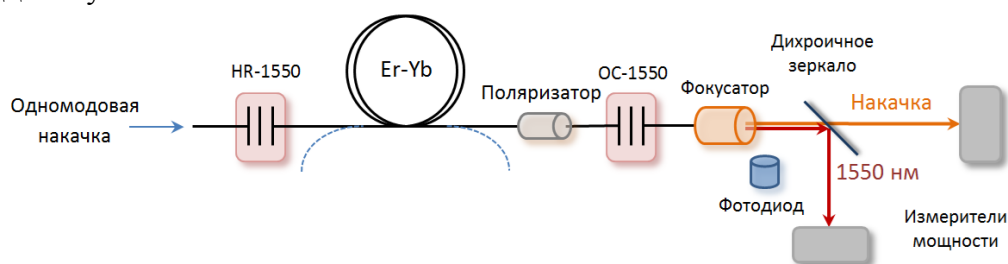


Рис. 1. Оптическая схема лазера на 1550 нм.

На рис.2 представлена ватт-ваттная характеристика лазера с активной схемой длиной 5м. Мощность сигнального излучения 1550 нм при малых мощностях накачки возрастает с дифференциальной эффективностью 27% и выходит на насыщение при ~15 Вт. Мощность излучения 1065 нм на выходе растет при мощности накачки больше 50 Вт линейно с эффективностью 50%. Эффект насыщения наблюдается в каждом из приведенных экспериментов, в таблице 1 приведены мощности насыщения для каждого лазера.

Выходная мощность лазерной системы ограничена, так как количество ионов эрбия, участвующих в генерации, ограничено и существует конечное время, за которое ион может получить энергию и передать часть её во внешнюю среду в виде электромагнитного излучения, перейдя при этом обратно в невозбуждённое состояние.

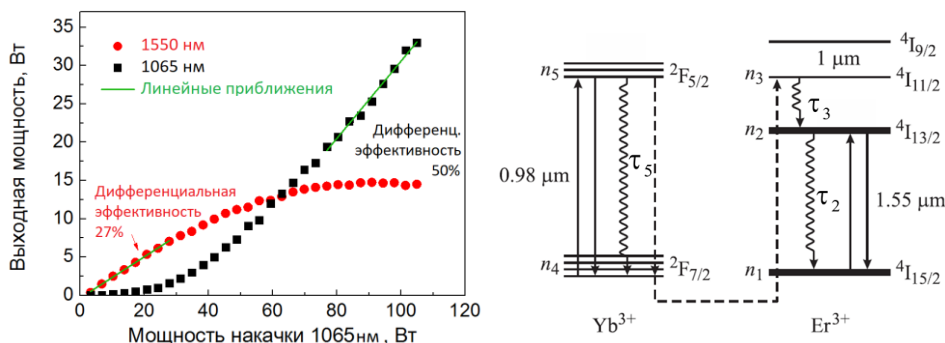


Рис. 2. Зависимость мощности излучения на 1550нм и остаточной мощности накачки 1065нм от мощности накачки (слева) и схема энергетических уровней в иттербий-эрбиевой активной среде (справа).

Основываясь на предположении, что узким местом генерации является переход ${}^4I_{11/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$ (рис.2), может быть получена формула для мощности насыщения P_{sat} :

$$P_{sat} = \frac{hc}{\lambda_s} \frac{N_{Er}}{\tau_3} \left(1 + \frac{\sigma_{Yb}^e}{\sigma_{Yb}^a} \left(1 + \frac{\sigma_{Er}^a}{\sigma_{Er}^e} \right) \right)^{-1}$$

Где N_{Er} - количество ионов эрбия в среде, τ_3 - время жизни на уровне ${}^4I_{11/2}$, λ_s - длина волны сигнала, $\sigma_{Er}^a, \sigma_{Er}^e, \sigma_{Yb}^a, \sigma_{Yb}^e$ - сечения поглощения и люминесценции рабочих уровней эрбия и иттербия соответственно, h - постоянная Планка, c - скорость света.

На основе экспериментальных данных и предложенной формулы нами было оценено время жизни уровня ${}^4I_{11/2}$ (таб.1). Видно, что для активных схем с различными количествами ионов эрбия и длиной волны накачки мощности насыщения значительно различаются P_{sat} , однако восстановленные времена жизни τ_3 , как и должно быть имеют приблизительно одинаковые значения. В мировой литературе данное время для фосфатных стекол сред лежит в диапазоне 1-3 мкс [1,3].

Таблица 1. Экспериментальные и теоретические результаты

Длина, м	Диаметр жилы, мкм	Концентрация ионов эрбия, ppm	Длина волны накачки, нм	P_{sat} , Вт (эксперимент)	τ_3 , мкс (расчёт)
4	9,1	230	1070	1,7	1,53
6	9,1	230	1070	2,5	1,56
5	18	300	1065	15	1,38

Авторы выражают благодарность руководству НТО «ИРЭ-Полус» за поддержку данных исследований.

Литература

- [1] R.S. Quimby, *Applied Optics*, **30** (18), 2546-2552 (1991)
- [2] E. Yahel, A. Hardy, *Journal of lightwave technology*, **21**(9), 2044-2052 (2003)
- [3] Н.Е. Алексеев, В.П. Гапонцев, М.Е. Жаботинский, *Лазерные фосфатные стекла*, М.: Наука, 352 с. (1980)