

Рис. 4. Зависимость относительного времени лизиса от концентрации меланина для препаратов с различной поглощенной дозой озона F ($T_{инк} = 2$ мин, pH = 2,8)
 а – 0,23; б – 0,37; в – 0,58; г – 0,94

Литература

1. Бриттон Т. (1986) Биохимия природных пигментов / ред. М. Н. Запрометов / М.:Мир,. – 422 с.
2. Masson H. S., Ingrem D. J. E., Allen B. (1960) Arch. Biochem. Biophys. 86, P.225.
3. Nicolaus R. A. (1966) Chim. Ind. 48, N 4, 341.
4. Sealy R. C., Felix C. C., Hyde J. S., Swartz H. M. (1980) Free Radical in Biology. 4. 209–252.
5. Плотникова С. И., Моссэ И. Б. (1982) Влияние меланина на мутационный процесс, индуцированный ионизирующей радиацией в половых клетках животных В кн.: Тез. докл. Четвертого Всесоюз. сипм. По фенольным соединениям, Ташкент, С.37–38.

ВЛИЯНИЕ СПОНТАННОГО ИСПУСКАНИЯ НА ПОРОГОВЫЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ Yb-Er ЛАЗЕРА С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

Л. Г. Крылова

В последние пятнадцать лет все нарастающий интерес вызывают эрбиевые лазеры, что обусловлено их возможностью генерации в области 1.5 мкм. Помимо широкого спектра технологических применений такого типа лазеров этот диапазон считается относительно безопасным для зрения и соответствует минимуму потерь в современных оптоволоконных линиях связи [1].

В настоящее время наиболее перспективными считаются системы на основе фосфатных стекол, соактивированные ионами иттербия и эрбия с диодной накачкой [2, 3]. Однако используемые, в основном, схемы продольной диодной накачки не позволяют эффективно использовать объем активной среды. Переход к поперечной схеме накачки требует дополнительной проработки оптимизации конфигурации резонатора и системы накачки и режимов работы лазера.

Разработанные к настоящему времени модели описания работы Yb-Er лазера [4–6] не пригодны для решения подобной задачи по двум основным причинам. Первая определяется аксиоматикой самих моделей, которые оперируют со средними по объему рабочей среды параметрами, что автоматически исключает возможность решения данной задачи. Вторая связана с тем, что в рамках упрощенных моделей полностью опущено, наряду с целым рядом других процессов, влияние спонтанного излучения в канале генерации. И если в рамках таких моделей подобное приближение еще можно как-то обосновать, то при переходе к исследованию эволюции преобразования энергии накачки в энергию генерируемого излучения по объему активной среды учет процессов спонтанного излучения становится принципиально необходимым.

Дело в том, что при достижении инверсии населенности в активной среде лазера происходит усиление спонтанного излучения в пределах достаточно широких спектров по частоте и направлениям (усиленная люминесценция) и только резонатор вырезает узкие участки этих спектров, формируя излучения генерации. Как правило, влиянием усиленной люминесценции пренебрегают, однако, как показали исследования полупроводниковых инжекционных лазеров [7], усиленная люминесценция может выступать в качестве существенного рекомбинационного фактора и, таким образом, влиять на пороговые, мощностные и динамические характеристики лазерной системы.

Поэтому, вполне естественно предполагать, что подобная ситуация может иметь место и для эрбиевых лазеров, особенно в случае поперечной диодной накачке. Однако в общем виде изучение подобной проблемы представляет весьма сложную задачу. Поэтому в данной работе поставлена более простая задача о выяснении влияния процессов спонтанного испускания на выходные и динамические характеристики Yb-Er лазера в рамках уже существующих упрощенных моделей и как это влияние соотносится с влиянием других процессов (например, апконверсия), которые в рамках принятых моделей обычно опускаются.

За основу упрощенной модели Yb-Er лазера взята обычная четырехуровневая схема, в которой каждый из ионов иттербия и эрбия описывается двухуровневой схемой с учетом переноса энергии между ними. Учет влияния процессов спонтанного излучения проводился путем введения дополнительного члена в уравнение для переноса интенсивности излучения генерации, в котором присутствовал свободный параметр δ , определяющий вклад этого излучения в излучение генерации.

Полученная система нелинейных дифференциальных уравнений решалась методом Рунге-Кутты в среде пакета Mathematica. Численные зна-

чения параметров лазерной системы взяты для фосфатных стекол, соактивированных ионами иттербия и эрбия, на основе критического анализа литературных источников.

Теперь кратко остановимся на результатах численного расчета. При рассмотрении выходных характеристик, т.е. зависимости мощности генерации от мощности накачки, влияние спонтанного излучения проявляется лишь вблизи порога генерации (при значениях мощности накачки равной удвоенной пороговой влиянием спонтанного излучения можно пренебречь для всего диапазона вариации параметров системы).

В результате расчета были получены значения выходной мощности в зависимости от времени и в зависимости от величины накачки. На *рис. 1* приведены выходные характеристики для Yb-Er лазера при варьировании длины резонатора. Как видно из графика, с увеличением длины резонатора происходит увеличение выходной мощности. Однако на эксперименте длины больше нескольких миллиметров встречаются редко. Это связано с тем, что используемая поперечная накачка осуществляется лазерными линейками, которые не велики по своей длине. Поэтому накачка происходит в области резонатора, которая гораздо меньше, чем сам резонатор. Максимальный КПД лазера, который можно получить составляет около 30%.

При изменении значения коэффициента спонтанного испускания существенная разница в значениях выходных характеристик наблюдается только вблизи порога (при $\delta \approx 10^{-3} - 10^{-4}$ выходная мощность в пороге в два раза превышает то же значение для $\delta \geq 10^{-4}$).

Значение порога при увеличении δ резко начинает возрастать при $\delta \geq 10^{-5}$. Характер этого возрастания не меняется при изменении как длины так и коэффициентов отражения зеркал резонатора.

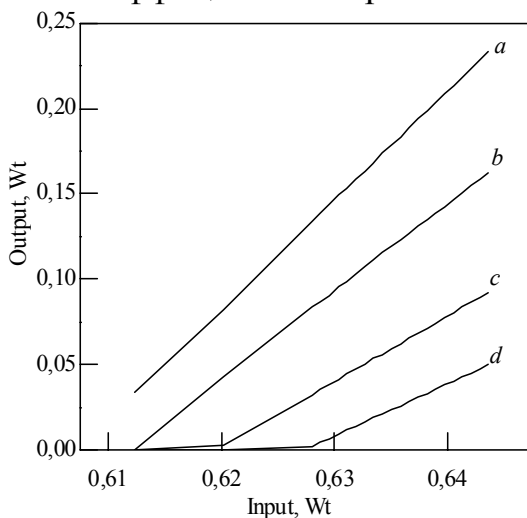


Рис. 1. Выходные характеристики при различных значениях длины резонатора $L = 0,25$ (a), $0,20$ (b), $0,15$ (c), $0,12$ (d) м

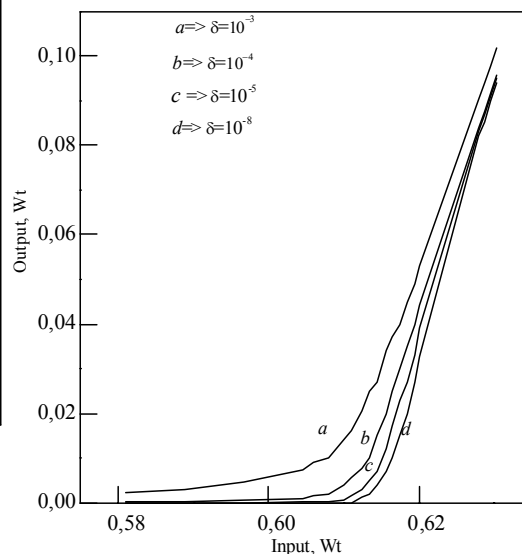


Рис. 2. Выходные характеристики для разных значений параметра δ

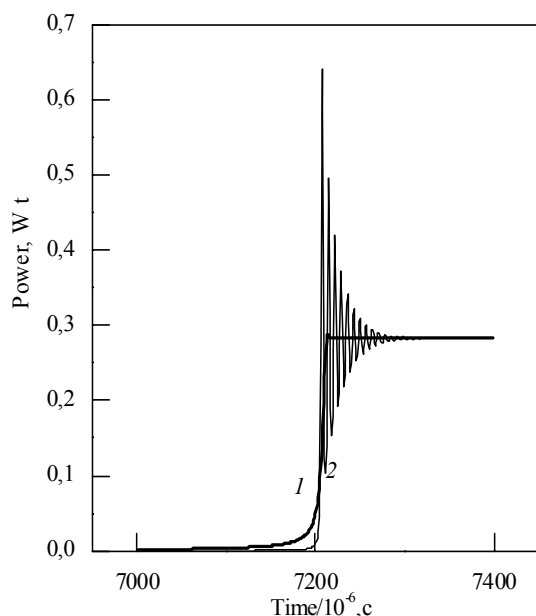


Рис. 3. Выходные характеристики при различных δ ,
 1 – $\delta = 10^{-4}$, 2 – $\delta = 10^{-6}$

При рассмотрении изменения выходной мощности от времени (рис. 3) в динамике при уменьшении δ наблюдается изменение максимальной пиковой мощности в переходном режиме, а так же времени достижения стационарного режима (чем меньше δ тем выше пиковая мощность и тем дольше происходит установление стационарного значения). При этом для разных схем уровней принципиальный характер зависимости не меняется. Кроме того, при увеличении δ происходит уменьшение периода осцилляций, который составляет $\approx 10^{-4}$ секунды. А так как такие колебания принципиально детектируемы, то определив экспериментально период осцилляций

можно по этим данным оценить δ .

Поэтому нами был проведен анализ ряда схем (четырёх-, пятиуровневой схемы и схемы с апконверсией) для изучения степени допустимости каждого из этих предположений и выяснения вклада усиленной люминесценции.

При рассмотрении зависимости выходной мощности для разных моделей системы, оказывается, что наиболее высокие значения выходной мощности получаются для пяти уровней, наименьшее – для четырех уровней, а для апконверсии значения мощности располагаются между этими двумя случаями.

Литература

1. Desurvire E. Erbium_doped fiber amplifiers. // Wiley-Interscience publication, 1994, 346p.
2. Gill G. M. IEEE J. Sel. Topics in Quant. Electron., 2000, v.6, pp.1111– 1115
3. Zhuping Liu, Changohong Qi, Shixun Dai, Yasi Jiang, Lili Hu. Spectra and laser properties of Er^{3+} , Yb^{3+} :phosphate glasses // Optical Materials. 2003. V. 21. P. 789–794.
4. Tellert T., Di Pasquale D., Federighi M. Theoretical Analysis of the Dynamic Behavior of Highly-Efficient Erbium/Ytterbium Codoped Fiber Lasers// IEEE, Phot.Techn.Lett, vol 8, No11, Nov. 1996.
5. Tanguy E., Larat C., Pocholle J.P. Modelling of erbium-ytterbium laser//. Opt. Comm. 172–183. 153(1998)
6. Li G., Xiong Z., Moore N., Lim G. C., Huang W. L., and Huang D. X. // J. Opt. Soc. Am. B **21**, 1479–1485 (2004)
7. Burov L. I., Savva V. A., Rusov S. G., Ryabtsev A. G. Ryabtsev G. I. Smal A.S. Shore K. A. // Nonlinear phenomena in complex systems, 2004, v.7, pp. 273–282