

ПАССИВНАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ МОД В ЛАЗЕРАХ НА ГРАНАТЕ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ ГЕНЕРАЦИИ 1.3 МКМ

М. И. Демчук, В. П. Михайлов, А. П. Шкадаревич, И. А. Маничев,
К. В. Юмашев, А. А. Ищенко, А. М. Забазнов

Широкое использование волоконно-оптических линий связи для передачи информации выдвигает задачи развития исследований по генерации ультракоротких импульсов твердотельными лазерами на длине волны ~ 1.3 мкм и оптимизации параметров таких лазеров. Необходимость таких задач возникает в связи с тем, что используемые волокна имеют нулевую материальную дисперсию на длине волны ~ 1.3 мкм, что создает условия передачи сигнала с максимальной информационной емкостью.

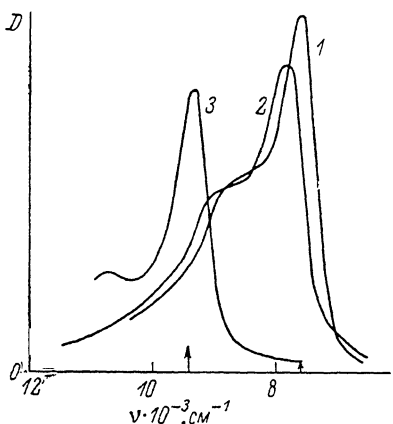
Возможность генерации ультракоротких импульсов (УКИ) твердотельными неодимовыми лазерами на длине волны ~ 1.32 мкм в режиме пассивной синхронизации мод продемонстрирована в [1, 2]. Однако наличие генерационного перехода на $\lambda = 1.06$ мкм у таких сред, сечение которого примерно на порядок больше сечения генерационного перехода на $\lambda \sim 1.3$ мкм, создает некоторые сложности получения режима ультракоротких импульсов на $\lambda \sim 1.3$ мкм.

В данной работе исследован режим пассивной синхронизации мод на длине волны $\lambda = 1.318$ мкм в лазерах на иттрий-алюминиевом гранате (YAG : Nd³⁺) и на $\lambda = 1.336$ мкм гадолиний-скандий-галлиевом гранате (ГСГГ : Cr³⁺ : Nd³⁺).

Резонатор лазеров был образован сферическим зеркалом с коэффициентом отражения $r_{1.318} = 100\%$ ($r_{1.064} = 35\%$) и плоским выходным с $r_{1.318} = 83\%$ ($r_{1.064} = 41\%$). Длина резонатора подбиралась экспериментально и составила для YAG : Nd³⁺ 1.02 и 0.92 м для ГСГГ.

Для YAG : Nd³⁺ в указанном резонаторе порог свободной генерации ($\lambda = 1.318$ мкм) составил 9 Дж. Для достижения режима пассивной синхронизации мод на сферическое зеркало наливался раствор пентакарбоцианинового красителя 4959 в дихлорэтане с коэффициентом пропускания $T_{1.318} = 65\%$ ($T_{1.064} = 86\%$) (см. рисунок). При увеличении энергии накачки до 20 Дж для просветления пассивного затвора начиналась свободная генерация в резонаторе на $\lambda = 1.06$ мкм. Для ее устранения в резонатор вносили стационарные потери на данную длину волны — раствор красителя 3274 в дихлорэтане с $T \sim 0.1\%$, который практически не поглощает на $\lambda = 1.318$ мкм (см. рисунок) и тем самым не увеличивает уровень стационарных потерь на данной длине волны. Действительно, при помещении кюветы с раствором красителя 3274 в резонатор порог свободной генерации (без затвора на $\lambda = 1.318$ мкм) составляет ~ 13 Дж. Режим синхронизации мод на $\lambda = 1.318$ мкм получали при энергии накачки 100 Дж. При использовании данного пассивного затвора был получен двухпороговый высокостабильный режим генерации УКИ, причем пороги свободной генерации и синхронизации мод практически совпадали. Длительность УКИ, измеренная электронно-оптической камерой «Агат-СФ-1», составила 70 пс. Использование пассивного затвора с более высоким значением интенсивности просветления позволяет создать условия [3] при работе в двухпороговом режиме для получения более коротких длительностей УКИ.

Спектры поглощения растворов красителей 4959 (1), 4877 (2) и 3274 (3) в дихлорэтане.



Более высокую интенсивность просветления имеет раствор красителя 4877 в дихлорэтане (см. рисунок), предельное пропускание которого было равным 50%. Усредненное по 30 измерениям значение длительности УКИ, измеренное камерой «Агат», составило 35 пс. КПД преобразования излучения в режиме пассивной синхронизации мод во вторую гармонику с помощью LiIO₃ $\sim 10\%$. При использовании данного пассивного затвора был достигнут двухпороговый режим синхронизации мод со значительным различием двух порогов (порог свободной генерации составил ~ 100 Дж, порог синхронизации мод ~ 170 Дж), что не является оптимальным условием получения минимальных длительностей УКИ [4, 5]. Сближение двух порогов производилось увеличением начальной плотности пассивного затвора, однако сближить пороги не удалось, так как этому препятствовала суперлюминесценция кристалла

на $\lambda=1.06$ мкм, которая приводила к насыщению усиления активного элемента на $\lambda=1.318$ мкм. Суперлюминесценция исключает возможность работы в наиболее оптимальном режиме минимальных длительностей УКИ (режиме, при котором пороги свободной генерации и синхронизации мод практически совпадают [4, 5]) для пассивных затворов с интенсивностями просветления, близкими к интенсивности просветления красителя 4877 в дихлорэтаноле (оцененной величиной ~ 150 МВт/см²). Использование пассивных затворов с большими интенсивностями просветления в лазере на YAG: Nd³⁺ практически невозможно.

Указанные трудности в значительной мере удается преодолеть при использовании кристалла гадолиний-скандий-галлиевого граната (ГСГГ: Cr³⁺: Nd³⁺) с фототропными центрами, поглощающими на длине волны $\lambda=1.06$ мкм. Фототропные центры представляют собой сложный агрегат, состоящий из иона Cr³⁺ и центра окраски. Фототропные центры, поглощающие на $\lambda=1.06$ мкм, и служат для предотвращения развития суперлюминесценции. Данная проблема является весьма актуальной, а особенно для кристаллов ГСГГ, которые, как известно, имеют на 1.06 мкм максимальный коэффициент усиления 0.7 см^{-1} [6] из всех известных Nd-содержащих сред. Были исследованы два кристалла ГСГГ, отличающиеся различной концентрацией центров, характеризуемой коэффициентами поглощения на длине волны $\lambda=1.06$ мкм $K_1=0.45$ и $K_2=0.30 \text{ см}^{-1}$. Использование кристалла ГСГГ с большим коэффициентом поглощения на $\lambda=1.06$ мкм приводило к повышению воспроизводимости режима и улучшению энергетических и временных параметров УКИ.

Кристаллы ГСГГ: Cr³⁺: Nd³⁺ ($K_1=0.45 \text{ см}^{-1}$) помещался в резонатор, образованный теми же зеркалами, что и для YAG: Nd³⁺. Наличие фототропных центров в кристалле делает излишним использование в резонаторе дополнительных стационарных потерь на $\lambda=1.06$ мкм и снижает требования к зеркалам по отражению на $\lambda=1.06$ мкм. Для получения режима пассивной синхронизации мод на $\lambda=1.34$ мкм на сферическое зеркало помещался раствор красителя 4877 в дихлорэтаноле с коэффициентом пропускания $T=57\%$. Порог режима синхронизации мод составил 73 Дж. В данном лазере был получен двухпороговый режим ПСМ с практическим совпадением порогов свободной генерации и синхронизации мод. Длительность УКИ составила 30 пс, усредненная по 30 измерениям.

Таким образом, впервые получен режим пассивной синхронизации мод в лазере на гадолиний-скандий-галлиевом гранате, активированном ионами Cr³⁺ и Nd³⁺ на длине волны генерации $\lambda=1.34$ мкм, обладающий максимальным коэффициентом усиления из известных Nd-содержащих лазерных сред. Это стало возможным именно благодаря введению в кристалл фототропных центров, поглощающих на длине волны более эффективного генерационного перехода (1.06 мкм) и препятствующих развитию суперлюминесценции.

Предложены два красителя 4959 и 4877 для получения режима пассивной синхронизации мод в лазерах на $\lambda \sim 1.3$ мкм, обладающих более высокой интенсивностью просветления, чем известный краситель 3620 [1].

Литература

- [1] Лисицын В. Н., Матросов В. Н., Пестряков Е. В. и др. В сб.: Лазерные системы. Новосибирск, 1982, с. 68—70.
- [2] Лисицын В. Н., Трунов А. И., Пестряков Е. В. и др. Письма в ЖТФ, 1982, т. 8, № 8, с. 488—492.
- [3] Demchuk M. J., Mikhailov U. P. Quantum Electronics, 1985, v. 17, N 1, p. 79—82.
- [4] Демчук М. И., Михайлов В. П., Маничев И. А. и др. ЖПС, 1986, т. 46, № 4, с. 562—567.
- [5] Варнавский О. П., Леонтович А. М., Можаровский А. М. и др. Препринт ФИАН СССР, № 110. М., 1986. 60 с.
- [6] Жариков Е. В., Лаптев В. В., Натаров С. Ю. и др. Квант. электр., 1985, т. 12, № 11, с. 2198—2199.

Научно-исследовательский институт
прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко
при Белорусском государственном
университете им. В. И. Ленина
Минск

Поступило в Редакцию
5 февраля 1987 г.