

07

© 1993

ЛИНЕЙНЫЙ  $Er^{3+}$ -ВОЛОКОННЫЙ ЛАЗЕР  
С ПАССИВНОЙ СИНХРОНИЗАЦИЕЙ МОД  
НА ОСНОВЕ САМОВРАЩЕНИЯ ЭЛЛИПСА ПОЛЯРИЗАЦИИ

М.П. Петров, Р.В. Киян,  
Е.А. Кузин, В.В. Спириин

Волоконные лазеры на основе допированных  $Er^{3+}$ -волокон представляют значительный практический интерес, так как могут работать в диапазоне длин волн 1.5 мкм и обеспечивают одномодовое излучение. При работе в режиме синхронизации мод они способны генерировать импульсы пикосекундного и субпикосекундного диапазонов, поскольку допированные  $Er^{3+}$  кварцевые волоконные световоды имеют большую ширину полосы усиления ( $\approx 40$  нм или  $\approx 10^{13}$  Гц).

Одной из наиболее известных схем волоконных лазеров, где обеспечивается режим пассивной синхронизации мод, является конфигурация в виде восьмерки [1, 2]. Здесь режим пассивной синхронизации мод осуществляется за счет эффекта Керра для линейно поляризованного света. В работах [3, 4] была опубликована кольцевая схема лазера, где для реализации режима пассивной синхронизации мод использован эффект самовращения эллипса поляризации эллиптически поляризованного света.

В настоящей работе мы предлагаем схему лазера с пассивной синхронизацией мод, осуществляемой с помощью эффекта самовращения эллипса поляризации, но предложенная нами схема имеет линейную конфигурацию. Преимущество такой схемы по сравнению с кольцевой – меньшее число оптических элементов, в частности, она не требует использования оптического изолятора.

На рис. 1 приведена схема предложенного нами лазера. Лазер состоит из отрезка волоконного световода, легированного  $Er^{3+}$  (2). Волокно обладает слабым двулучепреломлением и имеет следующие параметры: числовая апертура – 0.17, длина волны отсечки – 1.06 мкм, концентрация  $Er^{3+}$  – 500 ppm. Накачка волокна осуществлялась на длине волны 532 нм.

Один из торцов волокна был обломан под углом  $90^\circ$  к оси световода и приставлялся к диэлектрическому интерференционному зеркалу 1 с коэффициентом отражения 99% в диапазоне длин волн 1.5 мкм и коэффициентом пропускания 99% на длине волны 532 нм. Через этот торец осуществлялся ввод излучения накачки в волокно. Противоположный торец волокна был сошлифован под углом  $15^\circ$  к оси с тем, чтобы отраженный от торца свет не распространялся в сердцевине волокна. Далее размещаются микробиолинзы 3, поляризатор 4 (призма Глана) и второе зеркало 5 (коэффициент отражения 90% в диапазоне длин волн 1.5 мкм).

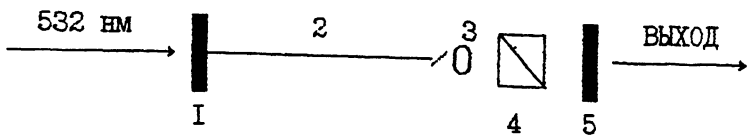


Рис. 1. Схема линейного волоконного лазера с пассивной синхронизацией мод, осуществляемой с помощью эффекта самовращения эллипса поляризации.

Рассмотрим качественно физические механизмы, приводящие к возникновению режима синхронизации мод в описанной схеме. Линейно поляризованный свет, прошедший через поляризатор 4 после отражения от зеркала 5, вводится в волоконный световод. Достигнув зеркала 1, свет отражается и, пройдя по волокну в обратном направлении, вновь падает на поляризатор. Поскольку волоконный световод обладает двулучепреломлением, линейно поляризованный свет, введенный в световод, приобретает эллиптическую поляризацию. Так что, если его мощность достаточно велика, может происходить самовращение эллипса поляризации [5]. Наличие поляризатора в резонаторе лазера делает возможной генерацию лишь при условии вращения эллипса поляризации на угол  $\pi n$ , где  $n$  — целое число. При малых уровнях мощности, когда нелинейные явления не оказывают существенного влияния на распространение света в волокне, реализуется режим с  $n = 0$  (режим свободной генерации). При повышении мощности до уровня, достаточного для реализации эффекта самовращения эллипса поляризации, генерация происходит при повороте эллипса поляризации на угол  $\pi n$ , где  $n \neq 0$ . В этом случае имеет место режим синхронизации мод.

Нами был собран и экспериментально исследован такой волоконный лазер. Если поляризатор удален из схемы, то наблюдается непрерывная генерация с выходной мощностью 4.5 мВт при мощности излучения накачки, введенной в волокно, 150 мВт. Если в резонаторе находится поляризатор, возникает импульсный режим генерации, параметры генерируемых импульсов зависят от величины обратной связи, длины волокна, ориентации поляризатора и уровня накачки.

Изменение величины обратной связи осуществлялось путем расфокусировки луча на торце волокна при перемещении микрообъектива 3 (рис. 1). Величина обратной связи определяет режимы работы лазера и влияет на величину средней мощности лазерного излучения и параметры генерируемых лазером импульсов. На рис. 2, а показана зависимость пиковой мощности импульсов от средней мощности излучения, снятая при изменении величины обратной связи. Когда величина обратной связи максимальна, происходит генерация цугов импульсов (рис. 3) со следующими параметрами: частота повторения цугов — 10,523 МГц (при длине волокна 10 м); длительность цуга около 20 нс (на рис. 2, б показана зависимость

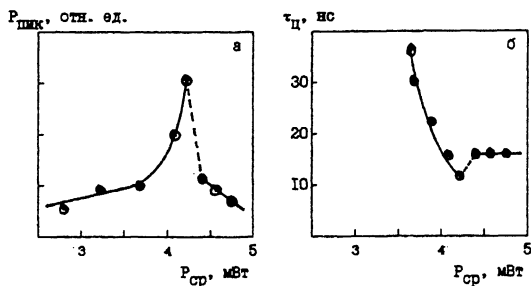


Рис. 2. Зависимости пиковой мощности импульсов  $P_{пик}$  (а) и длительность цугов импульсов  $\tau_{п}$  (б) от средней мощности излучения  $P_{ср}$

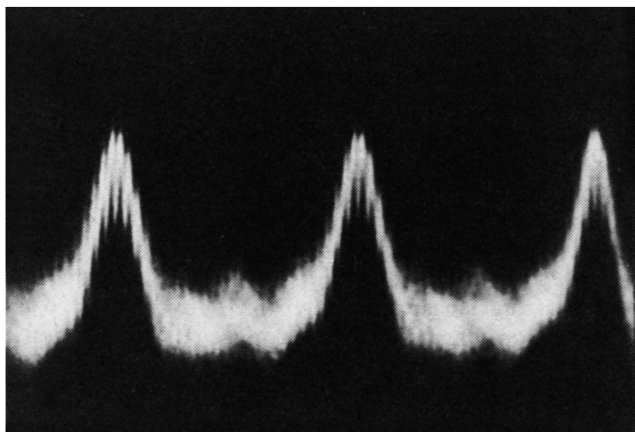


Рис. 3. Цуги импульсов, генерируемые в режиме синхронизации мод. Частота повторения цугов 10.523 МГц.

плительности цуга от средней мощности излучения при изменении величины обратной связи); число импульсов в цуге 9–11. Оценки показывают, что пиковая мощность генерируемых импульсов составляет около 100 Вт. Огибающая цуга имеет треугольную форму. Уменьшение величины обратной связи приводит к снижению средней мощности генерируемого излучения, но сопровождается ростом пиковой мощности импульсов. При некотором значении обратной связи (соответствующем средней мощности излучения 4.4 мВт) пиковая мощность импульсов возрастает скачком. После этого форма огибающей цуга меняется – становится колоколообразной. Дальнейшее уменьшение величины обратной связи сопровождается уменьшением как средней мощности излучения, так и пико-

вой мощности генерируемых импульсов. После того как средняя мощность излучения становится меньше 3,9 мВт, работа лазера напоминает режим свободной генерации со случайными перескоками между различными продольными модами. Полученные результаты качественно согласуются с другими экспериментальными данными. Например, в [6] наблюдалось самовращение эллипса поляризации на  $40^\circ$  при мощности импульсов 180 Вт и длине волокна 8 м.

Более детальный анализ требует разработки количественной теории, что будет сделано позже.

Таким образом, нами изготовлен линейный волоконный лазер с пассивной синхронизацией мод на основе эффекта самовращения эллипса поляризации оптического излучения. Мы получили генерацию импульсов в данной схеме и наблюдали различные режимы работы лазера.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Richardson D.J., Laming R.I., Payne D.N., Matsas V., Phillips M.V. // *Electr. Lett.* 1991. V. 27. N 6. P. 542-544.
- [2] Duling I.N. III // *Electr. Lett.* 1991. V. 27. N 6. P. 544-545.
- [3] Matsas V.J., Newson T.P., Richardson D.J., Payne D.N. // *Electr. Lett.* 1992. V. 28. P. 1391-1393.
- [4] Tamura K., Hans H.A., Ippen E.P. // *Electr. Lett.* 1992. V. 28. P. 2226-2228.
- [5] Winful H.G. // *Appl. Phys. Lett.* 1985. V. 47. N 3. P. 213-215.
- [6] Петров М.П., Кузин Е.А., Максютенко М.А. // *Квантовая электроника.* 1991. Т. 18. В. 11. С. 1395-1397.

Физико-технический  
институт им. А.Ф. Иоффе  
РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию  
19 апреля 1993 г.