

## Волоконный иттербиевый лазер с отражателем на основе брэгговской решетки, записанной в многомодовом световоде

А.С.Курков, Д.А.Грух, О.И.Медведков, В.М.Парамонов, Е.М.Дианов

*Впервые реализован эффективный волоконный иттербиевый лазер с накачкой в оболочку и с брэгговской решеткой, сформированной в многомодовом градиентном световоде. Лазер излучал в одной поперечной моде, его дифференциальная эффективность составила 60 %. Предложенная конфигурация резонатора может быть полезной для создания мощных волоконных лазеров на основе световодов с увеличенным диаметром сердцевины.*

**Ключевые слова:** волоконный лазер, ионы  $Yb^{3+}$ , волоконная брэгговская решетка, многомодовый световод.

Мощные волоконные лазеры на основе световодов, легированных иттербием и накачиваемых в оболочку, находят широкое применение в системах связи, медицине, обработке материалов и др. Можно ожидать, что круг их возможных применений будет расширяться. Как правило, резонатор таких лазеров формируется отражателями на основе волоконных брэгговских решеток [1] или диэлектрических зеркал [2]. Первый способ более предпочтителен благодаря простоте схемы и лучшей спектральной селективности решеток. Однако волоконные лазеры с непрерывной выходной мощностью порядка сотен ватт и более используют в качестве отражателей диэлектрические зеркала. Можно отметить две причины такого выбора. Во-первых, брэгговские решетки вызывают избыточные оптические потери. Хотя их уровень невелик (по нашим оценкам, около 0.1–0.2 дБ), эти потери могут вызывать значительный нагрев решетки при распространении высокой оптической мощности, что может привести к разрушению световода с записанной решеткой. Во-вторых, для уменьшения плотности мощности и снижения вероятности повреждения световода в мощных волоконных лазерах в качестве активной среды, как правило, используют световоды с увеличенным диаметром сердцевины, поэтому появляется проблема получения световода с необходимой фоточувствительностью, который мог бы свариваться с активным световодом, не вызывая значительных дополнительных потерь на соединении.

В настоящей работе мы предлагаем новую конфигурацию волоконного лазера с отражателями, которые образованы брэгговскими решетками, записанными в многомодовых градиентных световодах. Данный подход основывается на свойстве волоконных световодов с градиентным профилем показателя преломления поддерживать при распространении входное распределение мод. Поэтому можно предположить, что одномодовый режим, заданный характеристиками активного световода, будет сохраняться при распространении в градиентном волокне с записанной решеткой. В то же время, диаметр

поля основной моды в многомодовом световоде значительно превышает соответствующий диаметр в одномодовом волокне. Это позволяет существенно снизить плотность оптической мощности в области брэгговской решетки и, следовательно, уменьшить вероятность ее повреждения. Ниже мы представляем экспериментальные результаты применения таких «многомодовых» брэгговских решеток в схеме волоконного лазера, излучающего в одной поперечной моде. Следует отметить, что ранее мы продемонстрировали многомодовый волоконный лазер с зеркалом на многомодовой решетке [3].

**Многомодовые брэгговские решетки.** Впервые данный тип решеток был продемонстрирован в [4]. В настоящей работе мы использовали многомодовый волоконный световод с профилем показателя преломления, близким к параболическому. Профиль формировался путем радиального изменения концентрации легирующей примеси  $GeO_2$ . Максимальная разность показателей преломления сердцевины и оболочки составила 0.015, диаметр сердцевины световода был 50 мкм. Решетка записывалась голографическим методом с использованием удвоенного по частоте излучения аргонового лазера. Предварительно многомодовый световод насыщался водородом для повышения фоточувствительности.

На рис.1 показан типичный спектр пропускания многомодовой решетки, измеренный с помощью волоконного суперлюминесцентного источника. Видно, что спектр

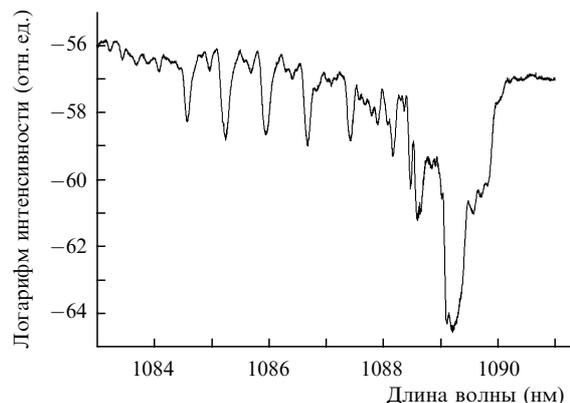


Рис.1. Спектр пропускания многомодовой брэгговской решетки при возбуждении суперлюминесцентным источником.

А.С.Курков, Д.А.Грух, О.И.Медведков, В.М.Парамонов, Е.М.Дианов. Научный центр волоконной оптики при Институте общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Россия, 119991 Москва, ул.Вавилова, 38; e-mail: kurkov@fo.gpi.ru

Поступила в редакцию 20 сентября 2004 г.

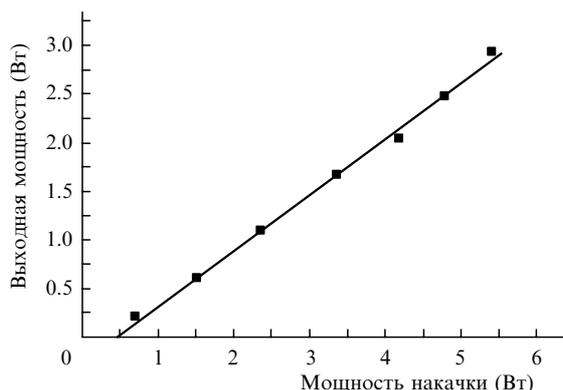


Рис.2. Зависимость выходной мощности лазера от мощности излучения накачки.

состоит из набора полос, соответствующих группам мод с различными постоянными распространения. Ширина спектра отражения для различных мод составляет около 5 нм. Это означает, что максимальная относительная разность постоянных распространения отражающихся мод составляет около 0.5%. Следует отметить, что более подробная интерпретация измеренного спектра затруднена большим количеством распространяющихся мод, а также возможной неоднородностью наведенного показателя преломления по сечению сердцевины из-за ее большого диаметра.

**Характеристики лазера.** Использованная схема лазера была предельно простой. Накачка осуществлялась через отрезок многомодового световода с записанной решеткой, используемой в качестве входного зеркала. Отрезок многомодового световода был сварен с отрезком активного световода, выходной торец которого являлся выходным зеркалом. Многомодовый световод имел полимерное покрытие с пониженным показателем преломления, что обеспечивало пропускание излучения накачки. Активный волоконный световод имел диаметр сердцевины около 6 мкм и световедущую оболочку квадратного сечения размером  $120 \times 120$  мкм. Длина активного световода составила 15 м. Для накачки использовалась линейка диодных лазеров с длиной волны излучения в области 0.98 мкм и максимальной выходной мощностью 6 Вт.

На рис.2 показана зависимость выходной мощности волоконного лазера от мощности накачки. Максимальная выходная мощность достигла 3 Вт при мощности накачки 5.4 Вт. Дифференциальная эффективность составила 60%. Хотя это значение уступает результатам, опубликованным, например, в работе [1], тем не менее, оно выглядит приемлемо. Можно указать на две возможные причины снижения эффективности. Во-первых, по оценке диаметра поля фундаментальной моды в многомодовом световоде составляет 30 мкм, что может привести к появлению потерь в точке сварки двух использованных световодов (мы полагаем, что эти потери будут снижаться по мере увеличения диаметра сердцевины активного световода). Во-вторых, в области сварки, а также в отрезке многомодового световода возможно возникновение модовой конверсии. Это предположение нуждается в дальнейшем исследовании.

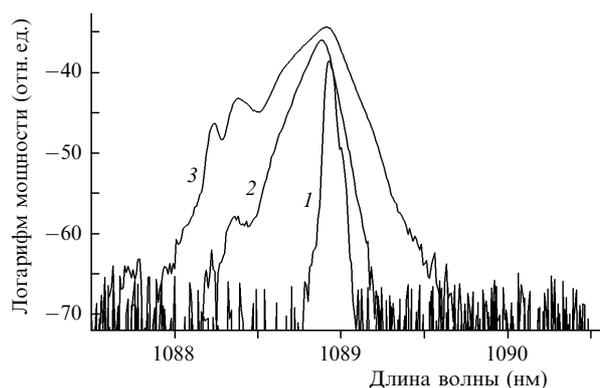


Рис.3. Спектры излучения лазера при мощностях излучения накачки 1 (1), 2 (2) и 5 Вт (3).

На рис.3 представлены спектры излучения лазера для различных уровней мощности накачки. Спектр генерации уширяется с ростом мощности накачки, а на крыльях спектра излучения появляются дополнительные слабые пики. Это явление может быть объяснено наличием конверсии мод, которая приводит к появлению отражения на резонансных длинах волн, соответствующих другим модам многомодового световода. Тем не менее, измеренная ширина спектра генерации по уровню 3 дБ не превысила 0.3 нм. Следует отметить, что в отличие от спектра излучения лазера с одномодовой решеткой спектр излучения лазера с многомодовым световодом достаточно чувствителен к деформации многомодовой решетки. Поэтому для получения стабильного спектра генерации необходимо жестко фиксировать брэгговскую решетку.

Таким образом, мы показали, что иттербиевый волоконный лазер с накачкой в оболочку, излучающий в одной поперечной моде, может иметь отражатели на основе многомодовых брэгговских решеток. Дифференциальная эффективность лазера составила 60%. Достоинством предложенной конфигурации является возможность стыковки многомодовой решетки с активными световодами, имеющими различные диаметры сердцевины, что может оказаться особенно полезным в случае использования активных световодов с увеличенным диаметром сердцевины, применяемых в мощных волоконных лазерах. Кроме того, мы предполагаем, что лучевая стойкость многомодовых волоконных решеток выше по сравнению с обычными решетками вследствие уменьшения плотности оптической мощности распространяющегося излучения, что также важно для мощных волоконных лазеров.

1. Курков А.С., Карпов В.И., Лаптев А.Ю., Медведков О.И., Дианов Е.М., Гурьянов А.Н., Васильев С.А., Парамонов В.М., Протопопов В.Н., Умников А.А., Вечканов Н.И., Артюшенко В.Г., Фрам Ю. *Квантовая электроника*, **27**, 239 (1999).
2. Dominic V., MacCormack S., Waarts R., Sanders S., Bicknese S., Dohle R., Wolak E., Yeh P.S., Zucker E. *Electron. Lett.*, **35**, 1158 (1999).
3. Kurkov A.S., Medvedkov O.I., Vasiliev S.A., Paramonov V.M., Gruk D.A., Dianov E.M., Guryanov A.N., Umnikov A.A. *Techn. Dig. of IQEC/LAT-2002* (Moscow, Russia, 2002) p. LSuD4.
4. Mizunami T., Gupta S., Yamao T., Shimomura T. *Proc. Conf. IOOC-ECOC'97* (Edinburgh, UK, 1997) Vol. 3, p. 182.