

## Гольмиевый волоконный лазер с длиной волны излучения 2.21 мкм

С.О.Антипов, В.А.Камынин, О.И.Медведков, А.В.Маракулин,  
Л.А.Минашина, А.С.Курков, А.В.Бараников

*Создан гольмиевый волоконный лазер, излучающий на длине волны 2.21 мкм. Эта длина волны является наибольшей для лазеров на основе кварцевых волокон. Мощность излучения составила 130 мВт.*

**Ключевые слова:** гольмий, волоконный лазер, двухмикронная область спектра.

Одной из основных тенденций развития волоконных лазеров является расширение спектральных диапазонов их генерации, в том числе и в двухмикронный диапазон, где расположены линии поглощения ряда газов (например, CO<sub>2</sub>) и паров воды [1]. Среди волоконных лазеров на основе плавленного кварца самые длинноволновые – это лазеры, активная среда которых легирована ионами гольмия. В работе [2] была продемонстрирована генерация в диапазоне 2.02–2.15 мкм, а в работе [3] получена эффективность генерации 0.45 относительно мощности накачки на 1.15 мкм. Следует отметить, что максимальная длина волны генерации (2.193 мкм) для лазеров на основе кварцевых волокон была достигнута в [4], где использовался ВКР-лазер на волокне с кварцевой оболочкой и германатной сердцевиной. В работе [5] была продемонстрирована генерация суперконтинуума в стандартных волокнах вплоть до 2.4 мкм. Целью настоящей работы являлось получение как можно более длинноволновой генерации в гольмиевом волоконном лазере.

Длина волны генерации была выбрана в области 2.2 мкм, где интенсивность люминесценции гольмия не превышает 0.01 от ее максимального значения на длине волны 1.95 мкм. Кроме того, оптические потери, обусловленные краем фоновой полосы поглощения, в этой области составляют около 0.4 дБ/м. Использование кварцевого волокна с повышенным содержанием ионов гольмия ( $3 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$ ) позволило уменьшить длину активного волокна и, следовательно, снизить влияние оптических потерь. Отражателями лазера служила пара брэгговских

решеток. Гольмиевый лазер накачивался иттербиевым волоконным лазером с длиной волны генерации 1.125 мкм.

В первой серии экспериментов использовались входной брэгговский отражатель с коэффициентом отражения 0.95–0.97 и выходной с малым ( $\sim 0.2$ ) коэффициентом отражения. В этом случае возникла интенсивная спонтанная генерация в области 2–2.1 мкм, но на резонансной длине волны брэгговских решеток генерация отсутствовала. Во второй серии экспериментов выходной отражатель был заменен на плотную решетку с коэффициентом отражения 0.95–0.97, что позволило получить стабильную генерацию на длине волны 2.21 мкм. Соответствующий спектр излучения, измеренный с разрешением 0.6 нм, представлен на рис.1.

Выходная мощность лазера существенно зависела от длины активного волокна, результаты исследования этой зависимости представлены на рис.2. Видно, что максимальная эффективность генерации для данного типа активного волокна достигается при длине 0.8–1 м. При уменьшении длины активного волокна наблюдается резкое падение мощности выходного излучения из-за его конкуренции со спонтанной люминесценцией. Максимальная выходная мощность гольмиевого лазера составила 130 мВт, соответствующая зависимость мощности выходного излучения от мощности накачки представлена на рис.3. Флуктуации выходной мощности лазера были менее 5% при непрерывной тестовой работе лазера в течение 20 мин. Следует отметить, что, несмотря на высокую концентрацию активных ионов, генерация была бес-

**С.О.Антипов.** Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Россия, 119991 Москва, Воробьевы горы

**В.А.Камынин, А.С.Курков.** Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Россия, 119991 Москва, ул. Вавилова, 38; e-mail: kurkov@kapella.gpi.ru

**О.И.Медведков.** Научный центр волоконной оптики РАН, Россия, 119333 Москва, ул. Вавилова, 38

**А.В.Маракулин, Л.А.Минашина.** ФГУП «Российский федеральный ядерный центр – ВНИИТФ им. Е.И.Забабихина», Россия, Челябинская обл., 456770 Снежинск, ул. Васильева, 13

**А.В.Бараников.** Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Россия, Московская обл., 141700 Долгопрудный, Институтский пер., 9

Поступила в редакцию 3 декабря 2012 г., после доработки – 22 февраля 2013 г.

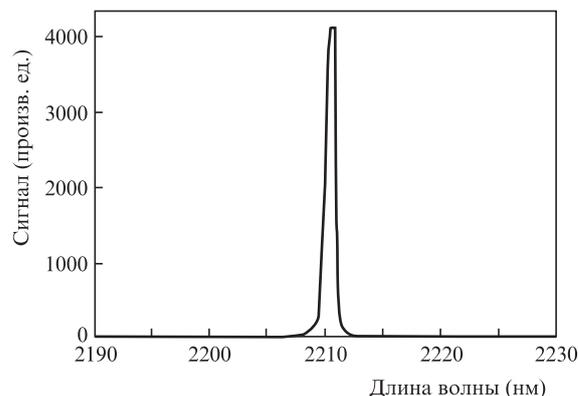


Рис.1. Спектр излучения гольмиевого лазера.

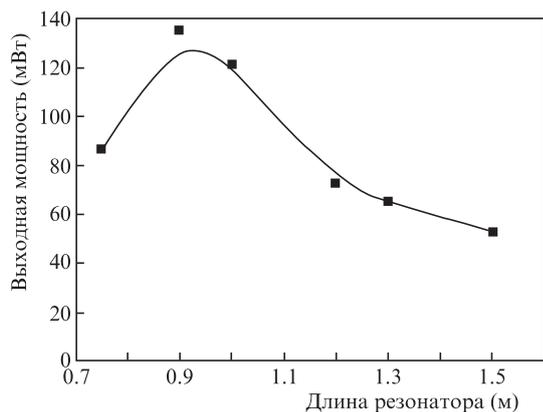


Рис.2. Зависимость выходной мощности от длины активного волокна в резонаторе.

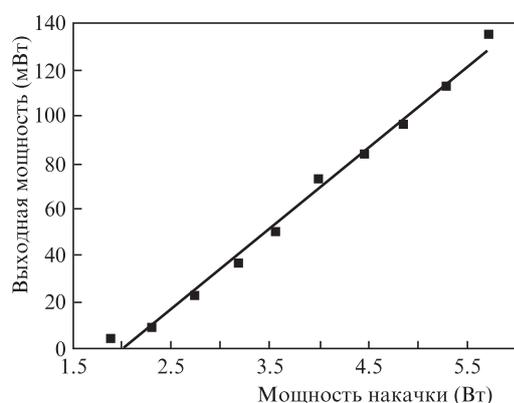


Рис.3. Зависимость выходной мощности лазера от мощности накачки.

пиковой [6], что объясняется отсутствием поглощения ионами гольмия на этой длине волны.

Дифференциальная эффективность генерации составила около 4%. Одной из причин малой эффективности

является использование в качестве зеркал брэгговских решеток с одинаковым коэффициентом отражения. Это привело к потере половины мощности излучения на выходе лазера из-за одинакового выхода мощности генерации через оба отражателя резонатора. Очевидным способом повышения эффективности лазера является снижение коэффициента отражения выходной брэгговской решетки. Однако выбор оптимального коэффициента отражения выходной решетки затруднен рядом факторов. Во-первых, сложно оценить коэффициент усиления на этой длине волны, т.к. интенсивность люминесценции мала, а литературные данные отсутствуют. Оценка по порогу генерации также затруднена отсутствием точных данных о коэффициенте отражения брэгговских решеток, что объясняется необходимостью использования специальной аппаратуры для надежных измерений в двухмикронной области. Поэтому мы предполагаем определить оптимальную конфигурацию резонатора эмпирическим путем.

Таким образом, создан гольмиевый волоконный лазер с рекордной для лазеров на основе кварцевых волокон длиной волны.

1. Тимофеев Ю.М., Васильев А.В. *Основы теоретической атмосферной оптики* (С.-Пб.: изд-е Научно-образовательного центра СПбГУ, 2007).
2. Kurkov A.S., Sholokhov E.M., Medvedkov O.I., Dvoyrin V.V., Pyrkov Yu.N., Tsvetkov V.B., Marakulin A.V., Minashina L.A. *Laser Phys. Lett.*, **6**, 661 (2009).
3. Курков А.С., Шолохов Е.М., Цветков В.Б., Маракулин А.В., Минашина Л.А., Медведков О.И., Косолапов А.Ф. *Квантовая электроника*, **41** (6), 492 (2011).
4. Дианов Е.М., Буфетов И.А., Машинский В.М., Шубин А.В., Медведков О.И., Ракитин А.Е., Мелькумов М.А., Хопин В.Ф., Гурьянов А.Н. *Квантовая электроника*, **35** (5), 435 (2005).
5. Камынин В.А., Курков А.С., Цветков В.Б. *Квантовая электроника*, **41** (11), 986 (2011).
6. Курков А.С., Шолохов Е.М., Маракулин А.В., Минашина Л.А. *Квантовая электроника*, **40** (10), 858 (2010).