

ФОТОН-ЭКСПРЕСС

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ВОЛОКОННОЙ ОПТИКЕ

Организаторы:

Научный центр
волоконной оптики РАН

Пермская научно-
производственная
приборостроительная
компания

УРО РАН,
Пермский научный центр

Пермский научно-
исследовательский
политехнический
университет (ПНИПУ)

Пермский государственный
национальный
исследовательский
университет (ПГНИУ)



ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ АКТИВНОГО ЭРБИЕВОГО ВОЛОКНА

Иваненко А.В.^{*}, Голубцов А.Э., Кеммер А.В., Смирнов С.В.,
Кохановский А.Ю., Кобцев С.М.

Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск
^{*}E-mail: ivanenko.aleksey@gmail.com

Особый интерес для решения ряда научных и технических задач представляют волоконные лазеры, генерирующие сверхкороткие импульсы. Для моделирования таких лазеров широко используется нелинейное уравнение Шрёдингера, см., напр. [1]. Адекватное моделирование невозможно без знания параметров активной среды лазера – коэффициента усиления слабого сигнала g_0 и мощности насыщения P_{sat} , которые используются для аппроксимации коэффициента усиления $g = g_0/(1+P/P_{sat})$. Производители оптических волокон, как правило, не указывают в спецификациях информацию, необходимую для вычисления данных параметров. Их непосредственное измерение в эксперименте представляет значительные технические сложности ввиду высокого уровня спонтанной эмиссии (ASE) и малой величины мощности насыщения. Отсутствие достоверной информации о параметрах активных волокон приводит к существенному разбросу параметров активных волокон, используемых для численного моделирования в различных работах.

В данной работе описана экспериментальная установка (рис. 1) для прямого измерения насыщаемого коэффициента усиления активного волокна и приводятся результаты измерений для 2.5-м отрезка стандартного эрбиевого волокна с поглощением 30 дБ/м на длине волны 980 нм.

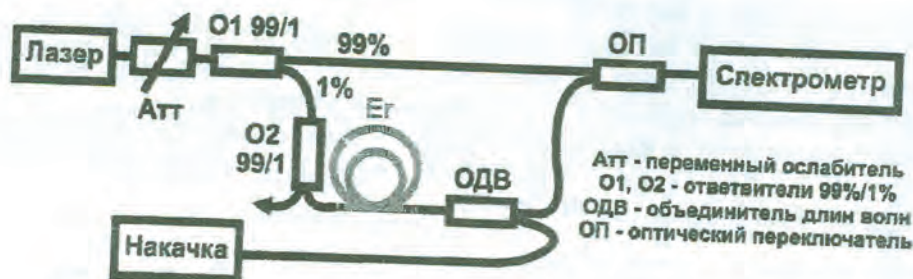


Рис. 1. Схема для измерения коэффициента усиления

Коэффициент усиления измерялся при нескольких мощностях накачки как отношение уровня мощности усиленного сигнала (P_2) к уровню мощности входного сигнала (P_1): $G[\text{дБ}] = 10\log_{10}(P_2/P_1)$. Накачка активного волокна осуществлялась через волоконный мультиплексор излучением лазерного диода на длине волны 980 нм.

При вычислении коэффициента усиления учитывались уровень мощности спонтанного излучения (СИ) и уровень мощности шумов оптического анализатора спектра (ОАС). Для повышения точности проводилось усреднение оптических спектров по пяти измерениям. Коэффициент насыщаемого усиления вычислялся по следующей формуле: $G[\text{дБ}] = 10\ln((P_{Laser+ASE} - P_{ASE} - P_0) P_{Laser} / \alpha - P_0)$ где $P_{Laser+ASE}$ – интегральный уровень мощности усиленного сигнала, P_{ASE} интегральный уровень мощности СИ, P_0 – интегральный уровень шумов, P_{Laser} – интегральный уровень мощности входного сигнала, α – коэффициент деления ответвителя в зависимости от подключения в схеме.

В качестве усиливаемой (сигнальной) волны использовалось излучение эрбиевого лазера с длиной волны генерации 1550 нм мощностью 15 мВт (ширина линии 0.1 нм, соотношение сигнал/шум 70 дБ). Малая ширина линии спектра позволяла уменьшить погрешность, связанную с СИ. Для регистрации входное и выходное излучение усилителя коммутировалось оптическим переключателем с ОАС с разрешением 0.02 нм. Уровень мощности излучения вычислялся как интеграл спектральной плотности мощности, регистрируемой ОАС, по длине волны.

Для изменения уровня мощности входного излучения от 5 мкВт до 7 мВт использовался переменный аттенуатор (ослабитель) с рабочим диапазоном от 3 до 30 дБ. При ослаблении сигнала менее 5 мкВт было технически сложно измерить уровень мощности входного излучения из-за шумов ОАС. В этой связи для измерения коэффициента усиления более слабого сигнала (менее 5 мкВт) использовались ответвители с коэффициентом деления 99/1.

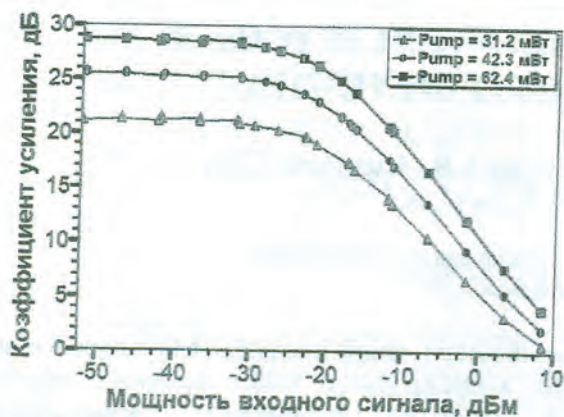


Рис. 2. Зависимость коэффициента усиления от мощности входного сигнала

Применение двух ответвителей позволило ослабить входное излучение до 0,5 нВт (два ответвителя с 1% выходом), подавая при этом на вход анализатора спектра более 7.9 мкВт (99% выход первого ответвителя) для обеспечения высокой точности регистрации. За счёт комбинирования перечисленных способов ослабления сигнала уровень мощности на входе оптического усилителя изменялся в диапазоне от 0,5 нВт до 7 мВт. Коэффициент усиления слабого сигнала - ненасыщенный коэффициент усиления - определялся как максимальный постоянный коэффициент усиления (рис.2).

Мощность насыщения P_{sat} определяется как значение мощности сигнала на выходе, при которой насыщенный коэффициент усиления G_s в два раза меньше коэффициента усиления при малом входном сигнале g_0 : $g_s[\text{дБ}] = (g_0 - 3)[\text{дБ}]$, что соответствует выражению $g = g_0 / (1 + P/P_{sat})$. Для активного волокна длиной 2.5 метра, легированного ионами эрбия с поглощением 30 дБ/м на длине волны 980 нм, были получены коэффициенты усиления слабого сигнала $g_0 \sim 21.2$ дБ, ~ 25.5 дБ, ~ 28.8 дБ при токах накачки 100, 120 и 150 мА, что соответствовало мощностям накачки 31.2 мВт, 42.3 мВт, 62.4 мВт соответственно. Мощность насыщения P_{sat} составила 8.4 мкВт, 9.8 мкВт и 10 мкВт. Мощности накачки 30-60 мВт соответствуют рабочим мощностям накачки для волоконных импульсных лазеров, как, например, в работе [3].

Полученные результаты могут быть использованы для адекватного моделирования эрбиевых волоконных лазеров на основе стандартного активного волокна с поглощением 30 дБ/м. Описанная в работе методика позволяет измерить параметры для других активных волокон.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов Министерства образования и науки РФ (№№ 14.В25.31.0003, ЗН-06-14/2419, 3.162.2014/К, 14-02-31198 мол_а) и гранта Президента для поддержки ведущих научных школ (НШ-4447.2014.2).

Литература

1. A.V. Ivanenko, S.M. Kobtsev, S.V. Kukarin, A.S. Kurkov, *Laser Physics*, v. 20, N2, 341-343 (2010)
2. S.V. Smirnov, S.M. Kobtsev, S.V. Kukarin, A.V. Ivanenko, *Optics Express*, v. 20, Issue 24, 27447-27453 (2012)
3. D. Radnatarov, S. Khripunov, S. Kobtsev, A. Ivanenko, and S. Kukarin, *Optics Express*, v. 21, 20626-20631 (2013)