

Субкилогерцовые диодные лазеры с внутрирезонаторным эталоном Фабри-Перо

Э.А. Фомиряков^{1,2,*}, А.В. Резников¹, Д.Р. Харасов¹,
С.П. Никитин^{1,3}, О.Е. Наний^{1,2}, В.Н. Трещиков¹

¹Группа компаний Т8

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

³ООО «Фемтовижн»

*E-mail: fomiryakov@t8.ru

DOI:10.31868/RFL.2024.26-27

Одночастотные лазерные источники узкополосного излучения являются объектом большого интереса для задач метрологии и спектроскопии высокого разрешения [1, 2]. Для таких применений требуется универсальный лазерный источник: перестраиваемый в широком диапазоне, но при этом узкополосный и стабильный при фиксированных настройках. Широкую полосу перестройки можно обеспечить, если заменить выходное зеркало на дифракционную решетку. Поворот угла решетки позволяет изменять центральную длину волны: диапазон перестройки превышает 4 нм [3].

Теоретический предел ширины линии можно оценить по формуле Шавлова-Таунса с учетом фактора Генри с использованием параметров резонатора [4]:

$$\Delta\nu_L = \frac{h\nu (\Delta\nu_c)^2}{P_{opt}} (1 + \alpha^2). \quad (1)$$

При выходной мощности около 5 мВт, длине резонатора 1 см, центральной длине волны излучения 1550 нм и коэффициентах отражения зеркал 99% и 70% ширина линии составляет не менее 10 кГц.

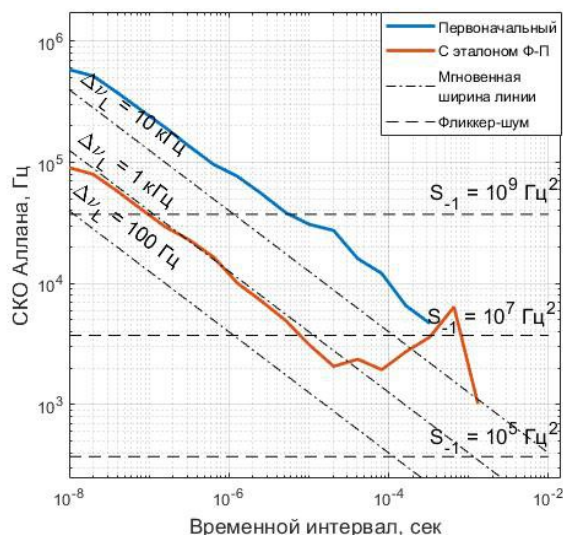


Рис. 1. СКО Аллана частоты сигнала автогетеродинамирования

Была показана теоретическая возможность обуздания мгновенной ширины линии и стабилизации центральной длины волны лазера с помощью селектирующего элемента [5]. В качестве такого элемента можно использовать эталон Фабри-Перо, а вносимые им частотно-зависимые потери приводят к поддержанию генерации на постоянной частоте.

Отношение ширины линии изначального лазера и лазера с внутрирезонаторным эталоном Ф-П может быть вычислено по формуле:

$$\Delta\nu_{ECDL} = \frac{\Delta\nu_L}{|1 + A + B|^2}, \text{ где } A(\omega) = \frac{d\phi(\omega)}{d\omega}, B(\omega) = \frac{\alpha}{\tau_0} \frac{d \ln |r(\omega)|}{d\omega}. \quad (2)$$

Коэффициенты A и B вычисляются с помощью комплексного амплитудного коэффициента отражения эталона Фабри-Перо:

$$r(\omega) = \frac{\Lambda}{\Lambda + i(\omega - \omega_0)} = |r(\omega)| e^{i\phi(\omega)}. \quad (3)$$

По расчетам при $\Lambda = 5$ ГГц минимальная мгновенная ширина линии $\Delta\nu_{ECDL}$ достигает 1 кГц.

Мы провели измерение фазовых шумов лазера с помощью методики автогетеродинамирования, описанной в нашей предыдущей работе [7]. Полученные результаты представлены в виде СКО Аллана частоты на Рис. 1. Синей линией обозначены измерения без эталона Ф-П, а оранжевой линией после помещения эталона в лазерный резонатор. Наклонные черные штрихпунктирные линии соответствуют теоретическим оценкам мгновенной ширины линии, а горизонтальные линии – теоретическим оценкам уровня фликкер-шума частоты. Из графика на Рис. 1 видно, что изначальная ширина линии превышала 10 кГц, а после установки эталона в резонатор лазера уменьшилась до 1 кГц. Резкое увеличение СКО Аллана частоты на временах выше 100 мкс является следствием нестабильности центральной частоты в виду механических колебаний резонатора. На Рис. 2 показаны зависимость длины волны лазера с эталоном Ф-П в зависимости от угла поворота решетки, причем он представлен в виде длин волн, которые лазер будет иметь при повороте. Как видно из графика плавная перестройка длин волн при использовании эталона замещается отдельными «ступенями», на которых лазерный источник излучает с шириной линии менее 1 кГц.

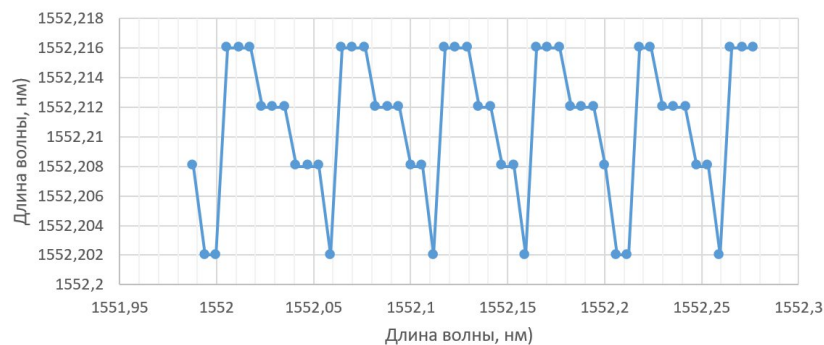


Рис. 2. Длина волны лазера с внутррезонаторным эталоном Ф-П в зависимости от угла поворота решетки, выраженного в длине волны

Таким образом экспериментально продемонстрировано обужение мгновенной ширины линии не менее, чем в 10 раз, для лазера с дифракционной решеткой в качестве выходного зеркала. Благодаря наличию плато зависимости длины волны излучения от угла поворота решетки центральная длина волны излучения меньше подвержена влиянию внешних механических вибраций.

Литература

- [1] B. Mikel et al, *Photonics, Devices, and Systems Ii*, **5036**, 8-13 (2003).
- [2] H. Nasim and J. Yasir, *Laser Physics Letters*, **10.4**, 043001(2013).
- [3] V. V. Vassiliev, S.A. Zibrov, and V. L. Velichansky, *Review of scientific instruments*. **77.1** (2006).
- [4] M. A. Tran, D. Huang, and J. E. Bowers, *APL photonics*, **4.11** (2019).
- [5] K. Vahala and A. Yariv, *Applied physics letters*, **45.5**, 501-503 (1984).
- [6] C.J. Hawthorn et al, *Review of scientific instruments*, **72.12**, 4477-4479 (2001).
- [7] E. Fomiryakov et al., *Journal of Lightwave Technology*, **39.15**, 5191-5196 (2021).