

- [2] Х а с и д з у м е, Х а с е г а в а, К о б а я с и, С а -
к у р а и // Приборы для научных исследований. 1986.
В. 57. № 7. С. 95-98.
- [3] К e l b g g G.L., B r e n n e r S.S. // Appl.
Phys. Lett. 1987. V. 51. N 22. P. 1851-1853.
- [4] М ю л л е р Э.В. Полевой ионный микроскоп с атомным
зондом. В кн.: Методы анализа поверхности / Под ред. А.Зан-
д е р н ы. Пер. с англ. М.: Мир, 1979, с. 401-463.
- [5] Р е н, Ц о н г, М а к - Л е й н. // Приборы для научных
исследований. 1986. № 10. С. 82-86.
- [6] К а р а т а е в В.Н., М а м ы р и н Б.А., Ш м и к к Д.В.//
ЖТФ. 1971. Т. 41. В. 7. С. 1498-1501.
- [7] Ш м и к к Д.В., Д у б е н с к и й Б.М. // ЖТФ. 1984.
Т. 54. В. 5. С. 912-916.

Поступило в Редакцию
1 февраля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 7
07

12 апреля 1989 г.

СУЖЕНИЕ ШИРИНЫ ЛИНИИ ГЕНЕРАЦИИ ОДНОЧАСТОТНЫХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

И.Б. В и т р и щ а к, С.Г. М у р а в и ц к и й,
О.А. О р л о в, В.И. У с т ю г о в

Твердотельные лазеры непрерывного действия, работающие в од-
ночастотном режиме, являются удобными источниками высокомоно-
хроматического излучения для таких применений, как, например,
лазерная спектроскопия, интерферометрия, когерентная светолокация,
связь. На практике степень монохроматичности этих лазеров обыч-
но связана с уровнем их выходной мощности. Так, в $YAG: Nd$ -
лазерах с полупроводниковой лазерной накачкой и выходной мощно-
стью порядка единиц - десятков милливатт достигнута ширина линии
(характеризующая в данном случае кратковременную стабильность
частоты) порядка единиц и десятков килогерц [1, 2], тогда как
в более мощных гранатовых лазерах - с ламповой накачкой и выход-
ной мощностью порядка ватта - кратковременная стабильность час-
тоты реализована лишь на уровне ста килогерц [3]. Такая разница
в первую очередь связана с тем, что повышение уровня накачки
вынуждает применять жидкостное охлаждение активного элемента,
являющееся дополнительным источником возмущений частоты излу-
чения вследствие флуктуаций теплоотвода из-за турбулентного тече-
ния хладагента. Известно, что такого рода флуктуации приводят так-
же и к амплитудным шумам лазера. В [4] было показано, что

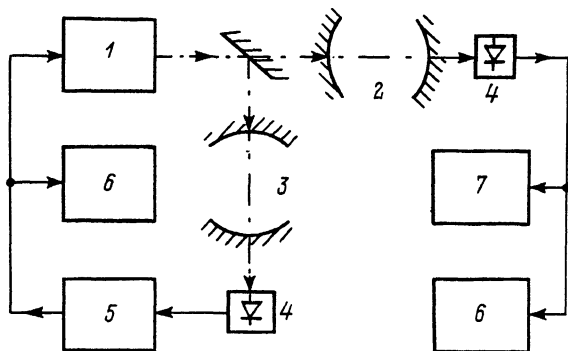


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 - кольцевой одно-частотный $YAG : Nd$ -лазер, 2 - конфокальный интерферометр Фабри-Перо - частотный дискриминатор (ширина полосы 10 МГц), 3 - аналогичный конфокальный интерферометр - частотный эталон в системе автоподстройки частоты (АПЧ), 4 - фотоприемники, 5 - блок электроники системы АПЧ, 6 - терцоктавный спектроанализатор, 7 - осциллограф.

стабилизация теплоотвода с применением предложенной в [5] термодемпфирующей оболочки вокруг активного элемента позволяет в несколько раз снизить уровень флуктуаций выходной мощности. В настоящей работе изучены возможности подобной оболочки в повышении стабильности частоты излучения и продемонстрировано, что ее использование в условиях ламповой накачки и жидкостного охлаждения активного элемента дает существенное - примерно на порядок - уменьшение уровня частотных флуктуаций.

Эксперименты проведены с одномодовым одночастотным кольцевым $YAG : Nd$ -лазером бегущей волны с трехзеркальным резонатором (с периметром 70 см), в котором кроме фарадеевского вентиля размещался частотный селектор (эталон Фабри-Перо), подстраиваемый сервопетлей на частоту резонатора. Лазер работал на длине волны 1.06 мкм. Активный элемент $\phi 3.7 \times 74$ мм был помещен в прозрачную оболочку из неактивированного граната $\phi 10$ мм с зазором (не более 5 мкм), заполненным вязким иммерсионным компаундом с высоким (более 1.6) коэффициентом преломления. Накачка осуществлялась дуговой криптоновой лампой в эллиптическом осветителе. Порог генерации был около 600 Вт: исследования частотной стабильности излучения проводились при накачке 1500 Вт, что соответствовало выходной мощности одночастотной генерации 0.6 Вт. Для получения сравнительных результатов без термодемпфирующей оболочки использовался активный элемент размерами 4×65 мм в соответствующей, оптимизированной для работы с таким элементом, лазерной головке.

Схема установки для исследования спектров частотных флуктуаций представлена на рис. 1. На рис. 2 приведены спектры частотных шумов излучения, соответствующие уровню пассивно стабили-

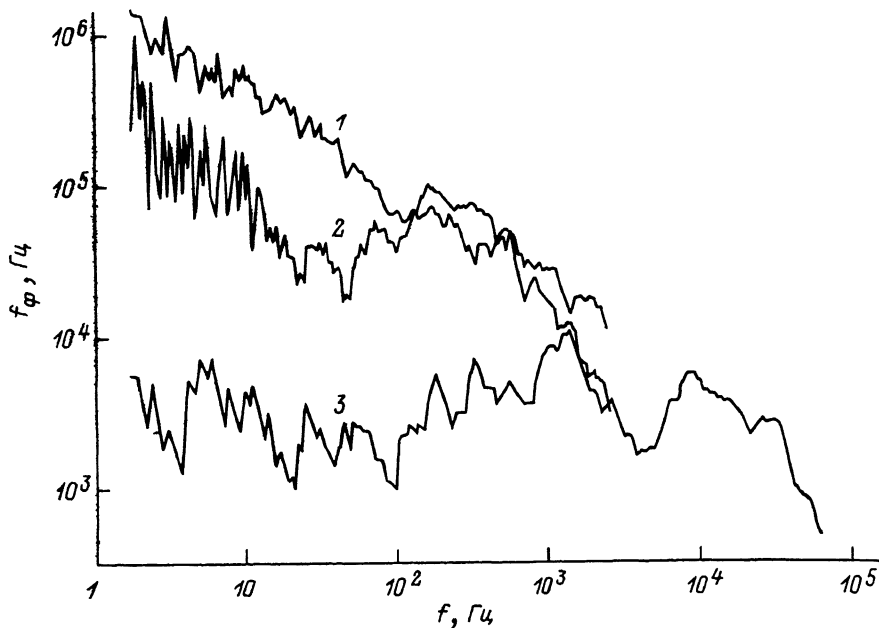


Рис. 2. Спектры флуктуаций частоты излучения $YAG : Na$ -лазера на длине волны 1.06 мкм при выходной мощности 0.6 Вт (получены с терцоктавным спектроанализатором). 1 и 2 – уровень пассивной стабильности: 1 – обычное охлаждение активного элемента, 2 – активный элемент в термодемпфирующей оболочке, 3 – уровень стабильности лазера с термодемпфирующей оболочкой, стабилизированного петлей АПЧ по эталонному интерферометру Фабри–Перо (f_ϕ – среднеквадратичная величина флуктуаций частоты излучения лазера в полосе спектроанализатора $\Delta f = 0.23 f$).

зированных лазеров, полученные по сигналу управления на выходе блока электроники системы автоподстройки частоты (АПЧ) в режиме привязки частоты лазера к внешнему конфокальному эталону Фабри–Перо. Рабочая полоса частот петли АПЧ составляла несколько кГц, поэтому для приведенного на рисунке диапазона частот спектр сигнала управления, вырабатываемого петлей, достаточно точно отражал уровень исходных частотных возмущений лазера. Видно, что термодемпфирующая оболочка приводит к существенному (до 10 крат) подавлению частотных флуктуаций. Такое улучшение исходного уровня пассивной частотной стабильности лазера обеспечивает получение высоких результатов в режиме привязки частоты к внешнему эталону.

Прямая регистрация частотных флуктуаций лазера с термодемпфирующей оболочкой, стабилизированного петлей АПЧ, производилась с помощью второго конфокального интерферометра, играющего роль

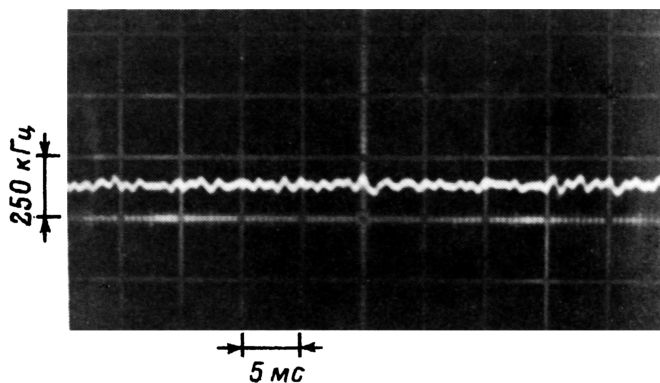


Рис. 3. Частотные флуктуации $YAG : Nd$ -лазера с термодемпфирующей оболочкой, стабилизированного петлей АПЧ по эталонному интерферометру Фабри-Перо.

частотного дискриминатора, при настройке частоты излучения на близкую к линейной часть склона его контура пропускания. Осциллограмма сигнала этого канала регистрации, представляющая флуктуации частоты излучения, приведена на рис. 3. Среднеквадратичная величина флуктуаций, измеренная в полосе регистрации аппаратуры 0.5 Гц ... 500 кГц, составила $\delta\nu = 17$ кГц, что соответствует относительному значению $\delta\nu / \nu = 6 \cdot 10^{-11}$. Согласно спектральному распределению, представленному кривой 3 на рис. 2, основной вклад в эту величину дают флуктуации на частотах до 10 кГц. Сравнение с опубликованными результатами показывает, что благодаря применению термодемпфирующей оболочки достигнутый уровень кратковременной частоты стабильности в 7 раз выше, чем в [3], и в настоящее время является рекордным для гранатовых лазеров мощностью порядка ватта.

Заметим, что долговременная стабилизация частоты $YAG : Nd$ -лазеров на таком же уровне ($\delta\nu / \nu = 10^{-10} \dots 10^{-11}$) может быть обеспечена применением в системе АПЧ спектроскопического репера на длине волны 1.06 мкм - линий поглощения паров молекулярного цезия [6, 7].

В заключение авторы выражают благодарность В.М. Вольнкину за изготовление иммерсионного компаунда и А.А. Маку за внимание к работе.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Zhou B., Kane T.J., Dixon G.J.,
 В у е r R.L. // Opt. Lett. 1985. V. 10. N 2. P. 62-64.

- [2] F o r r e s t G.T. // Laser Focus. 1987. V. 23. N 11. P. 62-74.
- [3] P e n g K.-C., W u L.-A., K i m b l e H.J. // Appl. Opt. 1985. V. 24. N 7. P. 938-940.
- [4] А зарова В.В., Галактионова Н.М., Мак А.А., Орлов О.А., Устюгов В.И. // Квантовая электроника. 1979. Т. 6. № 11. С. 2339-2348.
- [5] C h e s l e r R.B. // Appl. Opt. 1970. V. 9. N 9. P. 2190-2191.
- [6] Мак А.А., Муравецкий С.Г., Орлов О.А., Устюгов В.И. // Изв. АН СССР, сер. физич. 1988. Т. 52. № 2. С. 273-275.
- [7] Вигришак И.Б., Запорожец В.Н., Мак А.А., Муравецкий С.Г., Орлов О.А., Поликарпов П.В., Устюгов В.И. Тезисы докл. XIII Международной конференции по когерентной и нелинейной оптике. 1988. Минск: ИФ АН БССР. Ч. 2. С. 260-261.

Поступило в Редакцию
30 января 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 7
04; 09

12 апреля 1989 г

НАБЛЮДЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЛАЗМЫ ТОКАМАКА С ПОМОЩЬЮ УСИЛЕННОГО РАССЕЯНИЯ СВЧ ВОЛН

В.О. Александров, В.Н. Будников,
Л.А. Есипов, В.К. Корнеев,
В.С. Миросниченко, К.М. Новик,
А.Ю. Степанов

Метод усиленного рассеяния СВЧ волн успешно применялся на токамаке ФТ-2 для изучения коротковолновых колебаний, возбуждаемых в плазме при нижнегибридном нагреве. Цель настоящей работы заключалась в том, чтобы продемонстрировать возможность наблюдения „собственных“ мелкомасштабных колебаний, существующих в плазменном шнуре в омическом режиме.

Эксперименты выполнялись на токамаке ФТ-2 ($R = 55$ см, $a = 8$ см) при следующих параметрах разряда: тороидальное магнитное поле в центре камеры $B_0 = 17-27$ кГс, средняя концентрация $\bar{n}_e = 3 \cdot 10^{13}$ см $^{-3}$, ток разряда $I_p = 30$ кА.

В методе усиленного рассеяния для зондирования колебаний в плазме используется необыкновенная волна на частоте f_z , для которой в плазме существует доступная поверхность верхнего гибридного резонанса. Рассеянный в обратном направлении сигнал