

2. Hauge P. S., Dill F. H. Design and operation of ETA on automated ellipsometer.— IBM J. Res. Develop., 1973, v. 17, N 6, p. 472—489.
3. Алексеев С. А., Бронштейн И. Г., Прокопенко В. Т., Рондарев В. С. Автоматический эллипсометр с использованием CO₂-лазера.— В кн.: Эллипсометрия — метод исследования поверхности. Новосибирск: Наука, 1983, с. 116—118.
4. Воронцова Е. И., Григорьев В. К., Петровский В. И. Возможности фотометрического метода для автоматизации ИК-эллипсометра.— Там же.
5. Горшков М. М. Эллипсометрия.— М.: Сов. радио, 1974.
6. Румшинский Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента.— М.: Наука, 1971.
7. Гришин В. К. Статистические методы анализа и планирования экспериментов.— М.: МГУ, 1975.

Поступило в редакцию
11 февраля 1984 г.

УДК 621.373

А. А. АПОЛОНСКИЙ, Д. В. ЯКОВИН
(Новосибирск)

АКТИВНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСОВ АРГОНОВОГО ЛАЗЕРА С СИНХРОНИЗАЦИЕЙ МОД

Известно, что длительность импульсов света лазера с синхронизацией мод (ЛСМ) сильно зависит от параметров синхронизатора лазера, стабильности частоты генератора, питающего синхронизатор, и стабильности длины резонатора лазера. Стабильность работы синхронизатора лазера достигается при помощи пассивной или активной системы термостатирования. Частоту генератора стабилизируют кварцевыми резонаторами, что не всегда удобно для работы, так как исчезает возможность широкой перестройки самой частоты. Стабильность длины резонатора обеспечивается только пассивным термостатированием, что требует больших времен (порядка нескольких часов) выхода на нормальный режим работы.

В данной работе сообщается об активном методе стабилизации длительности импульсов света от аргонового ЛСМ, описанного в [1]. Этот метод впервые был предложен в [2] для лазера на красителе с синхронной накачкой. Он позволяет компенсировать линейные уходы резонатора лазера и неустойчивости частоты генератора, питающего синхронизатор.

Если в качестве датчика длительности импульсов света использовать нелинейный кристалл, преобразующий излучение ЛСМ во вторую гармонику (ВГ), то интенсивность излучения $I_{ВГ}$ связана с параметрами основного излучения соотношением [2]

$$I_{ВГ} \sim I^2/\tau, \quad (1)$$

где I и τ — средняя интенсивность и длительность импульса падающего излучения соответственно. Таким образом, максимуму интенсивности ВГ при заданном значении I соответствуют минимальные по длительности импульсы света ЛСМ.

Описываемая система стабилизации длительности импульсов представляет собой экстремальную систему регулирования, подстраивающую частоту генератора, питающего синхронизатор, под межмодовую частоту резонатора лазера. Частота генератора испытывает девиацию из-за пробного сигнала и вызывает модуляцию длительности импульсов и, следовательно, интенсивности излучения ВГ.

На рис. 1 показана экспериментальная зависимость интенсивности излучения ВГ от взаимной расстройки между частотой генератора, питающего синхронизатор, и межмодовой частотой резонатора лазера. Вблизи максимума кривую можно экстраполировать следующим выражением:

$$I_{ВГ} \sim I^2/\tau = I^2/\{\tau_0[1 + ((\Delta f_p + \Delta f_d \sin(2\pi ft))/\Delta f_0)^2]\}, \quad (2)$$

где τ_0 — минимальная длительность импульса света от ЛСМ; Δf_p — расстройка частоты генератора от частоты, соответствующей максимуму излучения ВГ; Δf_d — девиация частоты генератора, вызываемая пробным сигналом с частотой f ; Δf_0 — полуширина кривой на рис. 1. Разлагая выражение (2) в ряд по гармоникам частоты f для члена, соответствующего первой гармонике, получим

$$I_{ВГ}^{(1)}(f) \sim \frac{I^2 2\Delta f_p \Delta f_d}{\tau_0 (\Delta f_0)^2} \sin(2\pi ft). \quad (3)$$

Равенство нулю величины $I_{ВГ}^{(1)}(f)$ будет означать, что частота генератора установлена на центр кривой и импульсы света ЛСМ имеют минимальную длительность.

Блок-схема системы стабилизации приведена на рис. 2. Излучение аргонового лазера I на $\lambda = 488$ нм представляет собой последовательность импульсов света, дли-

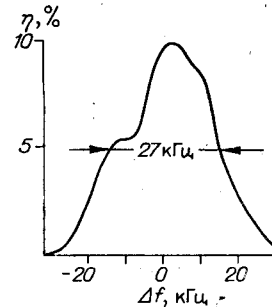
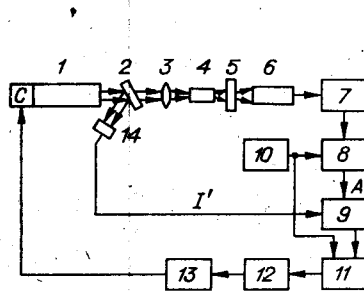
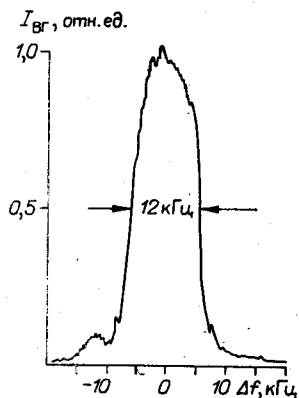


Рис. 1.

Рис. 2.

Рис. 3.

тельность которых от импульса к импульсу меняется с частотой пробного сигнала $f = 1$ кГц. Линза 3 с $F = 5$ см фокусировала излучение в нелинейный кристалл формата лития 4, где происходило удвоение его частоты с коэффициентом преобразования $5 \cdot 10^{-3}\%$ при $I = 20$ мВт. Спонтанное ультрафиолетовое излучение лазера подавлялось фильтром 2. Видимое излучение после кристалла ослаблялось в 10^3 раз фильтром 5 УФС-1, а излучение ВГ попадало на фотоумножитель 6 ФЭУ-142 с максимальной чувствительностью в области 250 нм и коэффициентом усиления 10^6 . Сигнал с фотоумножителя подавался на усилитель 7 «Unipan-233», работавший в широкополосном режиме (вместо усилителя «Unipan-233» использовался также усилитель У2-8), и детектировался синхронным детектором 8 «Unipan-232В». Детектирование осуществлялось на частоте пробного сигнала f с постоянными времени 1; 3 или 10 с в зависимости от общего уровня помех. Суммарное усиление тракта усилитель — синхронный детектор составляло $1,5 \cdot 10^6$. Для отработки флуктуаций интенсивности ЛСМ применялся делитель 9, построенный по известной схеме логарифм — антилогарифм. На один вход делителя подавался сигнал A (см. рис. 2) с выхода синхронного детектора 8, а на другой — сигнал I' с фотоприемника 14. С выхода этого устройства снимался сигнал $A/I'^2 \sim I'/\tau$. Пробный сигнал синусоидальной формы величиной 100 мВ с генератора 10 и сигнал с выхода делителя 9 через суммирующий усилитель 11 подавались на вход управления частотой синтезатора 12 ЧБ-31. Выходной сигнал с синтезатора частот усиливался высокочастотным усилителем мощности 13, подобным описанному в [3], и поступал на синхронизатор С с центральной частотой 81 МГц. В нашем эксперименте синхронизатор управлялся на частоте $f_0 = 70,2$ МГц и потреблял мощность $P \leq 3$ Вт.

На рис. 3 приведена зависимость эффективности дифракции синхронизатора от расстройки между частотой одного из его резонансов (70,2 МГц) и управляющей частотой. Анализ данной кривой показывает, что система стабилизации позволяет обрабатывать изменения длины резонатора лазера порядка сотен микрон.

Элементы данной установки использовались также для измерения длительности импульсов света ЛСМ по генерации ВГ. В коллинеарной геометрии взаимодействия полная ширина на полувысоте автокорреляционной функции составила 140 пс, что в предположении гауссовой формы импульса света соответствует его длительности $\tau_0 = 100$ пс.

В заключение отметим, что продолжительность работы ЛСМ без подстройки (после 30-минутного прогрева синхронизатора) со стабилизацией длительности импульсов света определялась только временем угловой разъюстировки зеркал резонатора (порядка часа), существенно превышающим времена ухода частоты генератора или длины резонатора лазера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аполонский А. А., Донин В. И. Получение мощных импульсов света с большой частотой повторения в системе «аргоновый лазер с синхронизацией мод — усилитель». — Автометрия, 1984, № 1, с. 65.
2. Rotman S. R., Roxle C. B., Behelaar D., Salour M. M. Pulse-width stabilization of a synchronously pumped mode-locked dye laser. — Appl. Phys. Lett., 1980, vol. 36, p. 886.
3. Ивлев Б. И. Широкополосные усилительные модули на транзисторах КТ 934Б, В. — ИТЭ, 1979, № 6, с. 91.

Поступило в редакцию
11 июля 1984 г.