

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.378.33

В. Н. АРЗУМАНОВ, Г. Ф. ЗАЙЦЕВ, С. В. КРУЖАЛОВ,
 Л. Н. ПАХОМОВ, В. Ю. ПЕТРУНЬКИН
 (Ленинград)

**ОДНОЧАСТОТНЫЙ YAG-Nd ЛАЗЕР,
 СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ПО ЭТАЛОННОМУ АНИЗОТРОПНОМУ РЕЗОНАТОРУ**

Один из перспективных источников монохроматического оптического излучения — лазеры с активным телом на основе YAG-Nd. Для многих применений этих лазеров требуется решение проблемы получения одночастотного режима и осуществления стабилизации частоты [1—3]. Ниже приводятся результаты разработки одночастотного лазера на YAG-Nd со стабилизацией частоты по эталонному анизотропному резонатору.

Блок-схема установки приведена на рис. 1. Для осуществления селекции продольных типов колебаний была использована схема Т-образного резонатора, образованного зеркалами 1—4, успешно применявшаяся при решении аналогичных задач в газовых лазерах [4]. Вывод излучения осуществлялся через зеркало 4 с коэффициентом отражения $R_4=96,5$, коэффициенты отражения зеркал селектора соответственно равнялись $R_1=R_2=99,5$; $R_3=65\%$. Расстояния от центра делительного зеркала 3 до зеркал 1, 2, 4 равнялись $l_{31}=l_{32}=4$, $l_{34}=70$ см. Устранение возможности генерации на порядках коэффициента отражения многозеркального селектора обеспечивалось за счет помещения внутрь резонатора низкодобротного наклонного интерферометра Фабри — Перо С, представляющего кварцевую пластинку толщиной 2 мм, на поверхности которой нанесено покрытие с коэффициентом отражения, приблизительно равным 23%. Селекция основной поперечной моды осуществлялась с помощью диафрагмы Д диаметром 1,7 мм. В установке использовался активный кристалл YAG-Nd диаметром 3 мм и длиной 45 мм с нанесенными на торцы просветляющими покрытиями.

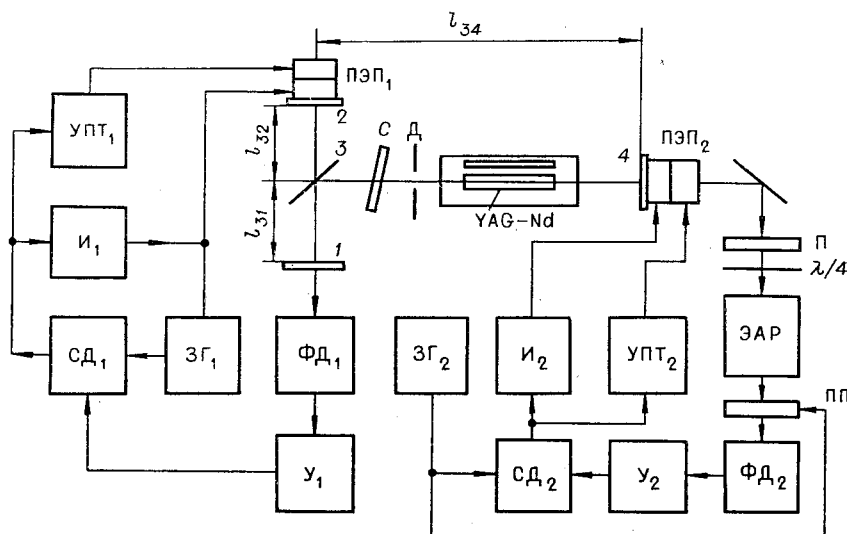


Рис. 1.

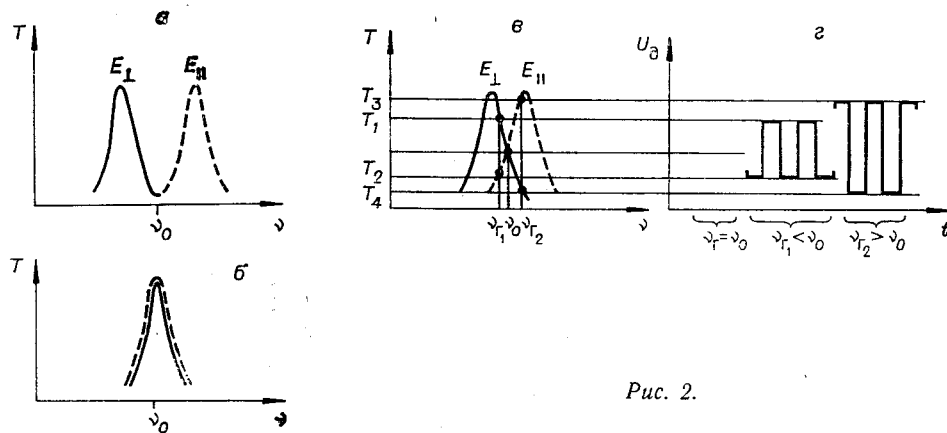


Рис. 2.

Накачка осуществлялась полуторакриловаттной криптоновой лампой, охлаждаемой проточной водой. Кристалл охлаждался 5%-ным раствором хромовокислого калия. Для уменьшения дрейфа частоты генерации лазера при термических воздействиях на кристалл (в нашем случае он составлял величину порядка 100 МГц/°С) температура раствора поддерживалась с точностью до 0,02°С с помощью ультратермостата УТ-15. Для устранения влияния конвекционных потоков воздуха на работу лазера между зеркалом 4, блоком сложного селектора и осветителем устанавливались стеклянные трубки, внутри которых проходил луч лазера.

Питание лампы производилось от источника, пульсации напряжения которого не превышали 2·10⁻²%.

Устойчивый одночастотный режим работы лазера поддерживался системой автоподстройки селекции [5]. Для этого на одну из частей двухсекционного пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП), управляющего зеркалом 2 сложного селектора, подавалось модулирующее напряжение от звукового генератора ЗГ₁. Сигнал, выделяемый фотодетектором ФД₁, поступал на усилитель У₁ и далее на синхронный детектор СД₁. Сигнал ошибки с выхода синхронного детектора усиливался усилителем постоянного тока УПТ₁ и поступал на вторую секцию ПЭП₁ для подстройки максимума коэффициента отражения селектирующего резонатора на частоту генерации. Для устранения остаточной погрешности в систему автоподстройки селекции введен интегратор И₁ сигнала ошибки, выход которого подсоединен к первой секции ПЭП₁.

Стабилизация частоты генерации осуществлялась по эталонному анизотропному резонатору (ЭАР), образованному двумя плоскопараллельными кварцевыми пластинками, на внутренние поверхности которых посредством оптического контакта приклеивались просветленные фазовые пластинки. Интерференционное покрытие, нанесенное на наружные стороны кварцевых пластинок, имело коэффициент отражения 98%. ЭАР помещался в термостат, обеспечивающий стабильность температуры до 10⁻³°С.

Система стабилизации частоты содержит (см. рис. 1) поляризатор П и четвертьволновую пластину λ/4, служащие для развязки стабилизируемого лазера от эталонного резонатора и получения циркулярно-поляризованного света, переключатель поляризации ПП, фотодиод ФД₂, усилитель У₂, синхронный детектор СД₂, усилитель постоянного тока УПТ₂, интегратор И₂ и двухсекционный пьезопреобразователь ПЭП₂, управляющий положением зеркал 4 резонатора стабилизируемого лазера. Опорное напряжение на синхронный детектор СД₂ подается от генератора ЗГ₂, управляющего переключателем поляризации ПП₂.

Циркулярно-поляризованный свет, поступающий на вход эталонного анизотропного резонатора, можно представить в виде суммы двух ортогональных линейно-поляризованных составляющих E_{||} и E_⊥, сдвинутых по фазе на 90°. Коэффициент пропускания резонатора зависит от взаимной ориентации осей фазовых пластин, прикрепленных к его зеркалам. Так, если оптические оси фазовых пластин параллельны, то зависимости коэффициентов пропускания интерферометра от частоты для ортогональных линейно-поляризованных составляющих света окажутся сдвинутыми относительно друг друга (рис. 2, а, здесь штриховые линии соответствуют поляризации E_{||}, параллельной оптической оси, сплошные — поляризации E_⊥, перпендикулярной оптической оси). Подобный сдвиг кривых пропускания объясняется тем, что составляющие света E_{||} и E_⊥ имеют различную длину оптических путей, отличающуюся на величину, равную суммарной разности хода, создаваемой фазовыми пластинками.

При повороте одного из зеркал вокруг оси интерферометра на 90°, т. е. при перпендикулярном расположении оптических осей фазовых пластин, кривые пропускания для составляющих E_{||} и E_⊥ сольются (см. рис. 2, б), так как фазовая пластинка одного из зеркал вызывает отставание, а другого — опережение ортогональных составляющих света на одну и ту же величину.

При использовании анизотропного интерферометра в схеме стабилизации частоты зеркала нужно развернуть на такой угол (отличный от 90°), чтобы кривые пропускания для ортогональных линейно-поляризованных составляющих пересекались в точке максимальной крутизны на опорной частоте (см. рис. 2, в).

Переключатель поляризации ПП₂ попеременно с частотой генератора ЗГ₂ пропускает на фотоприемник ортогональные линейно-поляризованные составляющие излучения лазера. Пусть в первый полупериод напряжения генератора ЗГ₂ пропускается составляющая света E_{\parallel} , а во второй E_{\perp} . Тогда на выходе фотодетектора появится переменное напряжение, амплитуда и фаза которого будут зависеть от величины и знака расстройки между частотой генерации ν_r лазера и опорной частотой ν_0 интерферометра. Например, для частоты $\nu_{r_1} < \nu_0$ амплитуда напряжения будет определяться разностью коэффициентов пропускания интерферометра T_1 и T_2 , а для $\nu_{r_2} > \nu_0$ — T_3 и T_4 , причем в последнем случае фаза колебаний изменяется на 180° (см. рис. 2, г). Очевидно, что при отсутствии расстройки ($\nu_r = \nu_0$) переменное напряжение на выходе фотодетектора становится равным нулю, так как интенсивности составляющих света E_{\parallel} и E_{\perp} , пропускаемых интерферометром, будут равны.

Сигнал с фотодетектора ФД₂ после усилителя У₂ поступает на синхронный детектор СД₂, на выходе которого получается сигнал ошибки, пропорциональный $\Delta\nu = \nu_r - \nu_0$. Сигнал ошибки после усиления УПТ₂, а также интегрирования И₂ используется для коррекции ухода частоты лазера путем управления длиной его резонатора с помощью ПЭП₂.

Использованная схема стабилизации частоты по анизотропному эталонному резонатору позволила отказаться от сканирования базы эталонного интерферометра и дала возможность значительно увеличить жесткость конструкции и тем самым ликвидировать существенные недостатки: изменение во времени свойств элементов, управляющих положением зеркал, нарушение юстировки зеркал в процессе их движения, чувствительность к вибрациям.

Описанный одночастотный лазер на YAG-Nd со стабилизацией частоты по эталонному термостатированному анизотропному резонатору имел стабильность частоты не ниже 10^{-8} за час. Стабильность частоты определялась по дискриминаторной характеристике кольца автоподстройки частоты. Выходная мощность генератора составляла 300 мВт.

ЛИТЕРАТУРА

1. H. G. Danielmeyer. Stabilized efficient single frequency Nd-YAG laser. — "IEEE J. Quant. Electron.", 1970, vol. QE-6, № 2, p. 101—104.
2. H. Gerhardt, V. Bodecker, H. Welling. Frequenzverhalten eines frequenzstabilen YAG: Nd³⁺ — lasers. — "Z. für Angew. Physik", 1971, Bd 31, № 1, S. 11—15.
3. H. G. Danielmeyer, W. N. Leibolt. Stable tunable single — frequency Nd : YAG laser. — "Appl. Phys.", 1974, vol. 3, № 3, p. 193—198.
4. В. Ю. Петрунькин, М. Г. Высоцкий, Р. И. Окунев. Селекция продольных типов колебаний в гелий-неоновом газовом ОКГ с 4-зеркальным Т-образным резонатором. — «ЖТФ», 1968, т. 38, с. 1983.
5. М. Г. Высоцкий, В. М. Николаев, Р. И. Окунев, В. Ю. Петрунькин. Исследование селекции продольных мод и стабилизации частоты излучения гелий-неонового лазера с кольцевым резонатором. — «ЖТФ», 1973, т. 43, с. 881.

Поступило в редакцию 20 ноября 1975 г.;
окончательный вариант — 5 июля 1976 г.

УДК 531.715 : 621.375.826

В. В. ВОРОБЬЕВ
(Новосибирск)

ИЗМЕРИТЕЛИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ С ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИМ МОДУЛЯТОРОМ

В настоящее время для измерения перемещений в заводских и лабораторных условиях все большее распространение получают двухчастотные доплеровские измерители перемещений вследствие их надежности, так как спектр выходных частот интерферометра с двухчастотным лазером не захватывает область нулевых частот, и высокой точности [1, 2]. В работе [1] описан измеритель перемещения на основе двухчастотного лазера с зеемановским расщеплением частоты излучения. Применение двухчастотного лазера дает возможность создавать интерферометры, измеряющие перемещение до малых долей длины волны излучения лазера. Однако до настоящего времени нет промышлен-