

где $E_Z(T)$ — энергия свободного $Z_{1,2}$ -экситона. Поэтому учитывая высокую температуру кристалла, асимметричную форму H -полосы излучения, отражающую распределение свободных экситонов по кинетическим энергиям и характер сдвига ее максимума, можно предположить, что она обусловлена экситон-электронным взаимодействием, в результате которого часть энергии, выделившейся при аннигиляции $Z_{1,2}$ -экситонов, идет на сообщение кинетической энергии электронам зоны проводимости. Подобный механизм аннигиляции рассматривался в [6], но в отличие от настоящего сообщения в указанной работе для CuJ наблюдалось взаимодействие экситонов с донорными электронами. Поскольку в случае экситон-электронного взаимодействия положение максимума H -полосы приближенно описывается выражением типа [6]

$$h\nu_H = E_Z(T) - \frac{1}{2} \frac{m_e + m_h}{m_e} kT,$$

где m_e и m_h — эффективные массы электрона и дырки, то учитывая полученное нами экспериментально соотношение для $h\nu_H$ и данные по приведенной массе экситона в CuJ $\mu = 0.27m_0$ [6], где m_0 — масса свободного электрона, можно рассчитать значения m_e и m_h . В результате получено: $m_e = 0.31 m_0$ и $m_h = 2.1 m_0$.

Литература

- [1] В. А. Никитенко, В. И. Пополитов, С. Г. Стоюхин. Письма ЖТФ, 5, 1177, 1979.
- [2] В. А. Никитенко, С. Г. Стоюхин, В. И. Пополитов. Тез. докл. XXV Всес. совещ. по люминесценции. 196. Рига, 1980.
- [3] В. А. Никитенко, С. Г. Стоюхин, В. И. Пополитов, Ю. М. Мининзон. Ж. прикл. спект., 34, № 6, 1980.
- [4] T. Goto, T. Takahashi, M. Ueta. J. Phys. Soc. Japan, 34, 314, 1968.
- [5] Y. Kawate, Y. Kaifu. J. Phys. Soc. Japan, 21, 1847, 1966.
- [6] Ch. In Yu, T. Goto, M. Ueta. J. Phys. Soc. Japan, 32, 1971, 1972.

Поступило в Редакцию 17 февраля 1981 г.

УДК 621.373 : 535. (206.3)

ГЕЛИЙ-НЕОНОВЫЙ ЛАЗЕР (0.63 мкм), СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ БЕЗ ДЕВИАЦИИ ЧАСТОТЫ

П. Е. Пак, В. Е. Привалов и Я. А. Фофанов

Как показывают международные сличения, гелий-неоновые лазеры, стабилизированные по насыщенному поглощению в иоде ($\text{He-Ne}/J_2$ -лазеры), обеспечивают в настоящее время самые высокие значения стабильности и воспроизводимости частоты излучения в видимой области [1]. Однако указанные лазеры имеют большую техническую ширину линии излучения (несколько МГц), которая обусловлена девиацией частоты излучения лазера, необходимой для работы системы автоподстройки частоты (АПЧ). Среднее значение частоты этих лазеров может принимать только дискретные значения, определяемые положениями свертонных компонент в спектре поглощения иода. Это ограничивает возможности применения указанных лазеров в физических исследованиях. В данном сообщении описывается лазерная система, которая обладает стабильностью и воспроизводимостью частоты излучения, характерными для $\text{He-Ne}/J_2$ -лазеров, но имеет значительно меньшую техническую ширину линии излуче-

ния и допускает плавную регулировку частоты излучения. Эта система является по существу аналогом генератора стандартных сигналов в оптическом диапазоне.

На рис. 1 представлена блок-схема описываемой системы. Она содержит опорный лазер 1, в качестве которого использовался He-Ne/J₂-лазер типа «Стандарт-460М» [2], и немодулированный лазер 2. Излучения лазеров 1 и 2 направлялись на фотокатоды фотоумножителей (ФЭУ) 3 и 4. На ФЭУ 3 осуществлялось динамическое преобразование частоты сигнала биений: на катод ФЭУ подавался сигнал с генератора 5, вследствие чего на коллекторе ФЭУ-3 присутствовал сигнал с частотой, равной разности частот сигнала биений и генератора 5. Частота генератора измерялась частотомером 6. Сигнал с коллектора ФЭУ 3 поступал в систему АПЧ 7, которая поддерживала частоту генерации лазера 2 такой, что среднее значение частоты сигнала биений было равно частоте генератора. В результате регулировка частоты генератора позволяла менять величину частотной расстройки лазеров. ФЭУ 4, усилитель 8, анализатор спектра 9 и частотомер 10 были предназна-

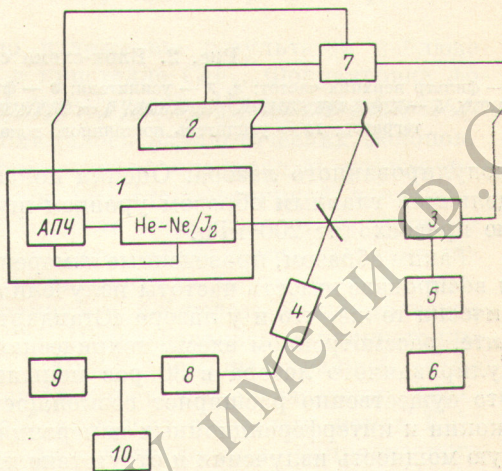


Рис. 1. Блок-схема системы.

1 — He-Ne/J₂-лазер; 2 — опорный лазер; 3, 4 — ФЭУ; 5 — генератор; 6, 10 — частотомеры; 7 — система АПЧ; 8 — усилитель; 9 — анализатор спектра.

чены для наблюдения спектра биений лазеров 1 и 2 и для контроля частоты биений.

Блок-схема системы АПЧ представлена на рис. 2. В этой системе реализована идея частотного дискриминатора, предложенная авторами работы [3]. Входной сигнал через фильтр верхних частот 1, усилитель 2 и фильтр нижних частот 3 поступал на амплитудный детектор 4. Фильтр 1 исключал паразитную амплитудную модуляцию входного сигнала на частоте модуляции длины резонатора опорного лазера. Фильтр 3 формировал радиоимпульсы, соответствующие моментам времени, когда частота опорного лазера была достаточно близка к сумме частот немодулированного лазера и генератора. Видеоимпульсы, полученные в результате амплитудного детектирования, поступали в качестве управляющего сигнала на синхронный детектор 8. На вход синхронного детектора через предварительный усилитель 5, фазовращатель 6 и усилитель 7 поступал из системы АПЧ лазера «Стандарт-460М» синусоидальный сигнал с частотой, равной частоте модуляции длины резонатора этого лазера. Напряжение сигнала ошибки подавалось через интегратор 9 на усилитель постоянного тока 10, далее на пьезокерамический цилиндр 11, на котором было укреплено одно из зеркал резонатора немодулированного лазера.

Крутизна дискриминационной характеристики на выходе синхронного детектора составляла около 2×10^{-7} В/Гц, скважность видеоимпульсов на выходе амплитудного детектора была равна 0.5. Резонатор немодулированного лазера, образованный плоским и сферическим ($R=1$ м) зеркалами, имел длину 0.38 м. Использовался активный элемент типа ТЛГ-2-П. Мощность излучения немодулированного лазера в одномодовом режиме составляла более 0.5 мВт. Для определения стабильности и воспроизводимости частоты немодулированного лазера были проведены серии измерений частоты биений этого лазера и лазера «Стандарт-460М».

Длительность каждой серии, содержащей по 150 измерений, составляла 30 мин. СКО серий не превышало 3 кГц при времени усреднения $\tau=1$ с и 1 кГц при $\tau=10$ с. Максимальная величина частоты биений при этих измерениях определялась частотными свойствами ФЭУ 4. Отклонение среднего значения частоты сигнала биений от значения частоты генератора не превышало 3 кГц.

Измерения нестабильности интервалов между видеоимпульсами на выходе амплитудного детектора позволяют оценить ширину линии не-

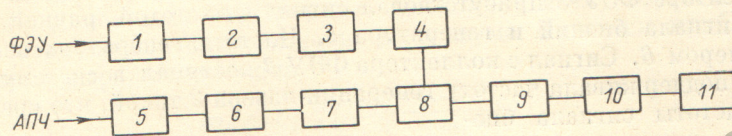


Рис. 2. Блок-схема системы АПЧ.

1 — фильтр верхних частот; 2, 7 — усилители; 3 — фильтр нижних частот; 4 — амплитудный детектор; 5 — предварительный усилитель; 6 — фазовращатель; 8 — синхронный детектор; 9 — инвертор; 10 — усилитель постоянного тока; 11 — пьезокерамический цилиндр.

модулированного лазера. Оценки показывают, что ширина линии, определяемая главным образом уровнем шумов усилителя постоянного тока, не превосходит 200 кГц.

Таким образом, проведенные измерения говорят о том, что стабильность и воспроизводимость частоты излучения немодулированного лазера практически те же, что и у лазера «Стандарт-460М». Даже в простейшем варианте, рассмотренном здесь, техническая ширина линии излучения немодулированного лазера в 30 раз меньше, чем у лазера «Стандарт-460М». Это существенно расширяет возможности применения лазера в спектроскопии и интерференционных измерениях, особенно учитывая более высокую мощность излучения и отсутствие девиации частоты. Используя более совершенные методы привязки немодулированного лазера, можно будет снизить ширину линии излучения еще на несколько порядков и провести исследования процессов, которые сейчас в видимом диапазоне маскируются широкой линией излучения лазера.

Авторы благодарят Г. Ф. Зайцева за консультации.

Литература

- [1] Ю. П. Ефремов, В. П. Капралов, К. А. Краснов, П. С. Крылов, В. Е. Привалов, Л. П. Ткаченко, Я. А. Фофанов. *Опт. и спектр.*, 48, 173, 1980.
- [2] В. П. Капралов, П. С. Крылов, А. В. Миронов, В. Е. Привалов, Л. П. Ткаченко. *Опт. и спектр.*, 49, 958, 1980.
- [3] В. Н. Арзуманов, Г. Ф. Зайцев, Г. М. Гуревич. *Изв. вузов, приборостроение*, 17, 88, 1974.

Поступило в Редакцию 23 февраля 1981 г.

УДК 548.0 : 535

НАБЛЮДЕНИЕ ФОКУСИРОВКИ ФОНОНОВ В КРИСТАЛЛЕ CaF_2 С ПОМОЩЬЮ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ФОНОННОГО ДЕТЕКТОРА

А. П. Абрамов, И. Н. Абрамова,
И. Я. Герловин и И. К. Разумова

Эксперименты по изучению баллистического распространения тепловых импульсов в кристаллах позволили обнаружить неравномерность углового распределения тепловой энергии, переносимой по кристаллу фо-