

ОБЩАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ
ТЕХНИКА

УДК 621.378.826

He–Ne-ЛАЗЕР С “ПАССИВНОЙ” СТАБИЛИЗАЦИЕЙ
ЧАСТОТЫ ИЗЛУЧЕНИЯ

© 1999 г. Ю. И. Левашов, Г. Д. Минаков, Ю. А. Пупков

Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН
Россия, 630090, Новосибирск, просп. Акад. Лаврентьева, 11

Поступила в редакцию 24.04.98 г.

После доработки 08.06.98 г.

Корпус резонатора He–Ne-лазера изготовлен из композитного материала на основе углеродных волокон, имеющего близкий к нулю коэффициент температурного расширения. Изменение длины резонатора при нагреве оценивается по числу “контуров мощности”, зафиксированных самописцем за время самопрогрева лазера. Оно составляет $< \lambda/2$ при изменении температуры корпуса на 12.5°C . Лазер выходит в рабочий режим через 20 мин. Без применения дополнительных устройств достигнута относительная стабильность частоты генерации 10^{-7} .

Стабильность частоты генерации лазера в основном определяется стабильностью расстояния между зеркалами резонатора. Для крепящих зеркал элементов применяют материалы с малым коэффициентом температурного расширения (к.т.р.), такие как суперинвар, ситалл и др. Для дополнительной стабилизации частоты применяют способы активной подстройки длины резонатора: стабилизацию частоты по провалу Лэмба (в одночастотных лазерах), поддержание равенства интенсивностей компонентов с ортогональными поляризациями (в двухчастотных) и поддержание равенства интенсивностей каждой из мод (в двухмодовых лазерах) [1, 2].

Новые композитные материалы на основе углеродных волокон [3] обладают малым и даже отрицательным к.т.р. в диапазоне температур $20\text{--}80^\circ\text{C}$ – значительно меньшим, чем у традиционных материалов. Ниже описывается резонатор, изготовленный из композитного материала [4], а также результаты испытаний образца He–Ne-лазера с таким резонатором.

При проектировании лазера была поставлена задача получить стабильность частоты излучения не хуже 10^{-7} при изменении температуры в помещении на 10°C . При этом конструкция резонатора должна быть виброустойчивой и технологичной в сборке.

Для изготовления корпуса применен материал на основе высокомодульного ($E = 362$ ГПа) углеродного волокна “Кулоң”, пропитанного эпоксидной смолой. Этот материал имеет отрицательный к.т.р. вдоль волокон и небольшой положительный к.т.р. поперек волокон. Углеродные волокна укладывались по специальной схеме, позволяющей получить нулевой к.т.р. вдоль оси корпуса: один слой материала располагался волокнами вдоль

оси корпуса, три слоя – волокнами поперек и т.д. до получения толщины стенок 5 мм. После запекания корпус отжигался при температуре 200°C в течение 3 ч с последующим медленным остыванием. К.т.р. вдоль оси резонатора получился практически равным нулю в диапазоне температур $20\text{--}80^\circ\text{C}$. В поперечном направлении к.т.р. был близок к к.т.р. инвара. Результаты измерения удлинения образцов (200 мм) из композита, кварцевого стекла и суперинвара при нагреве на $60\text{--}70^\circ\text{C}$, приведены на рис. 1.

Для получения режима генерации на одной моде TEM_{000} использован короткий (< 200 мм) резонатор с капилляром $\varnothing 1$ мм. Коэффициент усиления лазерной среды мал, и мощность выводимого лазерного излучения сильно зависит от прозрачности окон Брюстера и чистоты зеркал. При нагреве корпуса резонатора, изготовленного из материала, содержащего эпоксидную смолу, выделяются вещества, загрязняющие окна Брюстера и зеркала. Если не принять специальных мер, то со временем генерация прекратится. По той же

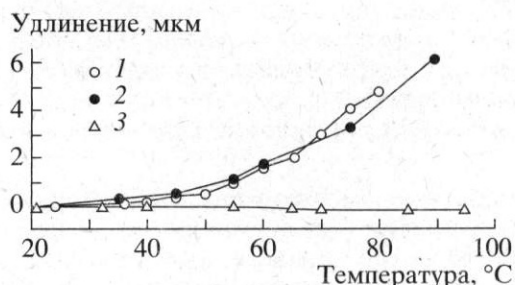


Рис. 1. Удлинение образцов (200 мм), изготовленных из различных материалов: 1 – кварцевое стекло, 2 – суперинвар, 3 – углепласт.

причине нежелателен контакт окон Брюстера с внешней средой.

Чтобы достичь однородности и симметрии композитного материала в поперечном сечении для исключения коробления при прогреве, упрощения технологии изготовления и сборки лазера, корпус выполнен в виде полого цилиндра 1 (см. рис. 2). При изготовлении в корпус с торцов были вмонтированы металлические кольца 2, имеющие пазы 3 для лучшего сцепления с композитом. Стекланный активный элемент также имеет цилиндрическую форму. Он вставляется в корпус, центрируется и приклеивается эпоксидной смолой к одному из металлических колец 2, герметизируя объем, в котором находятся окно Брюстера и зеркало. Из-за разности продольного к.т.р. стекла и композитного материала при прогреве лазера возникают напряжения, что приводит к короблению элементов конструкции, разъюстировке зеркал и даже разрушению активного элемента. Поэтому второй конец стеклянной колбы активного элемента приклеен к металлическому кольцу, соединенному через тонкую металлическую шайбу 8 с корпусом резонатора, что позволяет компенсировать разницу в изменении длины в продольном направлении без создания опасных напряжений. Второе окно Брюстера и зеркало также находятся в замкнутом объеме, изолированном от корпуса и внешней среды.

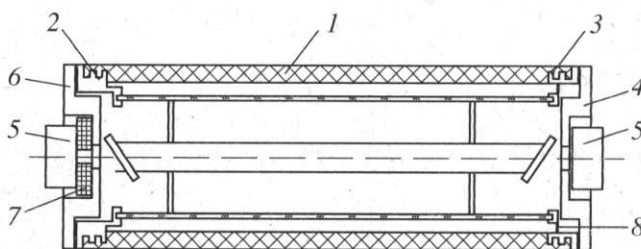


Рис. 2. Конструкция резонатора: 1 – корпус; 2 – металлические кольца; 3 – паз для лучшего сцепления с композитом; 4, 6 – фланцы; 5 – зеркала; 7 – пьезокерамика; 8 – металлическая шайба.

зеркало имело коэффициент пропускания 1.65% на длине волны 0.63 мкм. Для контроля за работой лазера небольшая часть излучения выводилась через почти сплошное зеркало с коэффициентом пропускания ~0.1%. Мощность излучения лазера составила 0.25 мВт, что близко к максимальной мощности активного элемента.

Так как центральная частота лазерного перехода зависит от давления газа и силы тока разряда, на йодной ячейке была проверена стабильность воспроизведения частоты генерации. Аппаратура для этих измерений была любезно предоставлена коллегами из Института автоматики и электротехники СО РАН (Новосибирск). Изменением напряжения на пьезокерамике резонатор настраивался на центр провала Лэмба и по йодной ячейке измерялась частота генерации, воспроизводимость которой оказалась лучше 10^{-8} . Ширина линии генерации, измеренная сканирующим интерферометром фирмы Spectral-Physics, USA (model 476), составила 40 МГц.

Частота генерации лазера определяется средним взвешенным значением центральной частоты линии лазерного перехода и частоты моды резонатора. При изменении длины резонатора происходит смещение его мод и изменение частоты генерации. У одномодового лазера, частота выходного излучения которого плавно перестраивается изменением длины резонатора, выходная мощность плавно изменяется между минимальным и максимальным значениями, описывая так называемые "контуры мощности". Один "контур мощности" соответствует изменению длины резонатора на $\lambda/2$, т.е. 0.3 мкм [5]. По количеству "контуров мощности", зафиксированных самописцем за время самопрогрева лазера, была оценена стабильность длины резонатора.

Лазер и фотодиод закреплялись на жесткой подставке, сигнал с фотодиода подавался на самописец. Запись мощности излучения лазера проводилась из холодного состояния за время более суток без стабилизации температуры в помещении при закороченной пьезокерамике. В течение первого часа самопрогрева контролировалась температура корпуса лазера – изменение температуры

К металлическим кольцам 2 по периметру приварены фланцы 4, к которым затем приклеивались зеркала 5 (к сожалению, не удалось обойтись без склеиваемых соединений, но число их сведено к минимуму). Для приклеивания зеркал к фланцам применен специальный негазирующий компаунд, состоящий из эпоксидной смолы ЭД-20, отвердителя ПО-300 и наполнителей TiO_2 , Al_2O_3 . Чтобы не возникало нежелательных напряжений в поперечном направлении, кольца и фланцы изготовлены из инвара. Полное отсутствие винтовых соединений обеспечило жесткость и виброустойчивость конструкции. Одно из зеркал приклеено к шайбе 7 из пьезокерамики, что дало возможность изменять длину резонатора лазера и осуществлять абсолютную привязку частоты излучения по провалу Лэмба. Юстировка резонатора выполнялась на специальном стенде сразу же после нанесения компаунда, и до его полного затвердевания контролировалась выходная мощность излучения. При необходимости юстировка зеркал корректировалась.

Активный элемент для нашего лазера изготовлен на Московском электроламповом заводе (МЭЛЗ), его мощность излучения в одномодовом режиме 0.3 мВт, уровень собственных шумов $<10^{-6}$ при токе 6 мА. Зеркала с многослойным покрытием изготовлены в лаборатории оптики Института ядерной физики (Новосибирск). Выходное

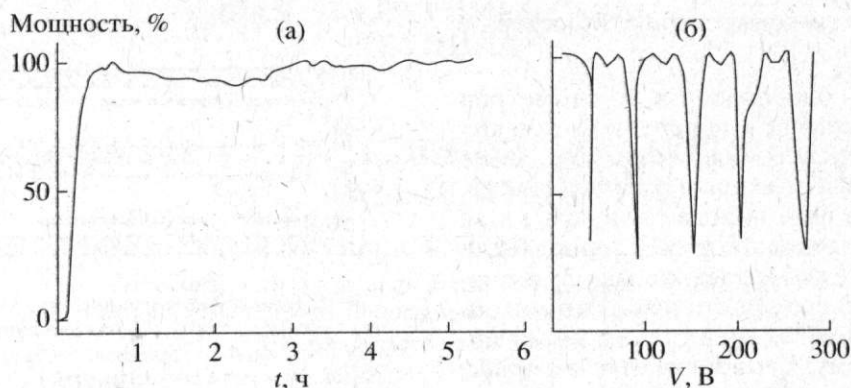


Рис. 3. Изменение мощности лазера при самопрогреве (а) и при подаче напряжения на пьезокерамику (б). Корпус изготовлен из углепласта.

составило 12.5°C . Для первых пяти часов кривая мощности показана на рис. 3а. На рис. 3б приведена запись кривых мощности при подаче управляющего напряжения на пьезокерамику. Видно, что самописцем зафиксировано менее одного “контура мощности”. Примерно через 20 мин после включения лазер выходит в рабочий режим – на максимум мощности и в дальнейшем удерживается в пределах провала Лэмба. Провал Лэмба имеет ширину порядка однородной ширины линии, что составляет $<30\%$ ширины линии генерации (40 МГц). Стабильность частоты генерации, таким образом, лучше 10^{-7} . Уровень мощности ос-

тается примерно постоянным, что свидетельствует о сохранении юстировки зеркал и об отсутствии деформаций резонатора. При поддержании температуры корпуса лазера постоянной с точностью $\sim 1^{\circ}\text{C}$ стабильность частоты может быть улучшена до 10^{-8} . Для сравнения на рис. 4 показана аналогичная запись контуров мощности при самопрогреве He-Ne-лазера, корпус резонатора которого выполнен из инвара [6].

В заключение авторы благодарят коллег из ИАЭ СО РАН, МЭЛЗ, ПО “Химволокно”, ИЯФ СО РАН, оказавших помощь в создании и проведении испытаний лазера.

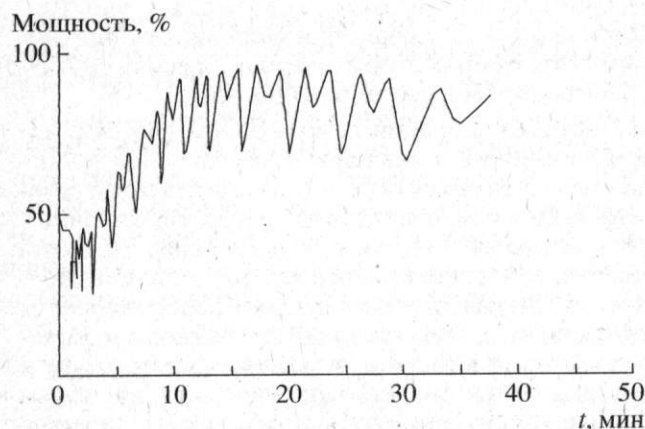


Рис. 4. Изменение мощности лазера при самопрогреве (корпус изготовлен из инвара).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Реди Дж. Промышленные применения лазеров. М.: Мир, 1981.
2. Коронкевич В.П., Ханов В.А. Современные лазерные интерферометры. Новосибирск: Наука, 1985.
3. Композиционные материалы. Справочник под ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. М.: Машиностроение, 1990.
4. Левашов Ю.И., Минахов Г.Д., Пупков Ю.А. и др. Патент № RU 2040089 С1 РФ. 1995. Класс 6H01S 3/08.
5. Звельто О. Принципы лазеров. М.: Мир, 1984. С. 181–187.
6. Коронкевич В.П., Ханов В.А. Лазерные интерферометры и их применение. Новосибирск: Наука, 1984.