

07;12

He–Ne/J₂-лазер на виброизолирующем основании

© П.С. Крылов, В.Е. Привалов

С.-Петербургский государственный политехнический университет
E-mail: ver29@bstu.spb.su

Поступило в Редакцию 4 августа 2004 г.

Сообщается о новой модели уникального прибора для спектроскопии — He–Ne/J₂-лазера, обеспечивающего в настоящее время наиболее высокую воспроизводимость длины волны в видимом диапазоне.

Определение метра 1983 г. регламентировало в качестве эталонных длин волн излучения пяти стабилизированных лазеров [1,2]. Значения их приведены в таблице. Данные значения получены в результате многих международных сличений, проведенных с 1974 по 1982 гг. (см., например, обзор [3]). Последующие годы работа продолжалась [4,5], в результате погрешность воспроизведения частоты (длины волны) излучения He–Ne/CH₄-лазера в настоящее время оценивается в 12–13 знаках и в перспективе может достичь 14 знака, что не является, по-видимому, теоретическим пределом для лазера данного типа [6]. Погрешность воспроизведения частоты излучения остальных лазеров из таблицы оценивается сегодня в 11–12 знаках.

Наиболее распространен He–Ne-лазер, стабилизированный по насыщенному поглощению в иоде (He–Ne/J₂-лазер) с длиной волны 0.6329 μm, так как это самый сильный переход в видимой части спектра излучения неона. Лазер хорошо изучен и надежен. Общее состояние работ с лазерами данного типа и отечественные достижения, включая подготовку и начало серийного производства, содержатся в книгах [7,8].

Наряду с указанными длинами волн хорошие результаты получены с He–Ne/J₂-лазерами на длине волны 0.5435 μm. Воспроизводимость частоты практически не уступает эталонным значениям [9] и может быть выше, чем у других He–Ne/J₂-лазеров, так как контраст пиков поглощения в иоде возрастает в полосе B–X с уменьшением длины волны. Хорошие результаты получены на длинах волн 0.5939 и 0.6401 μm. Ставится задача разработки лазеров на парах металлов,

Эталонные частоты, регламентированные определением метра 1983 г.

Лазер	Частота, МГц	Длина волны, μm	Погрешность воспроизведения
He–Ne/CH ₄	88376181.608	3.3922313970	$1.3 \cdot 10^{-10}$
He–Ne/J ₂	437612214.8	0.6329913981	$1.1 \cdot 10^{-9}$
He–Ne/J ₂	489880355.1	0.6119707698	$1 \cdot 10^{-9}$
He–Ne (2 ^z гармоника 1.15 μm) или лазер на красителе	520206808.61	0.57629476027	$6 \cdot 10^{-10}$
Ar/J ₂	582490603.6	0.5146734662	$1.3 \cdot 10^{-9}$

стабилизированных по поглощению в иоде [10]. Делаются попытки создать полупроводниковый лазер, стабилизированный по поглощению в иоде [11]. Предложенный авторами [12] атлас иода позволяет из почти миллиона линий выбрать подходящую для любого лазера в диапазоне 0.499–0.829 μm .

Иодом и метаном не ограничиваются предложения поглощающих сред для стабилизации частоты излучения потенциальных эталонных источников. Предлагаются полупроводниковые лазеры, стабилизированные по поглощению в цезии и рубидии [13,14]. Число эталонных источников, по-видимому, должно расти, так как, когда их мало, промежуточные значения длин волн следует определять с помощью внешнего интерферометра, а не оптическим гетеродинированием, что менее точно.

Тем не менее продолжается исследование наиболее распространенного He–Ne/Je₂-лазера (0.6329 μm). Изучается попытка стабилизировать его частоту по пятой гармонике опорного сигнала [15,16]. Если сделать этот лазер дешевым, компактным и надежным, то обилие таких лазеров в научных центрах и на прецизионном производстве позволит вести измерения на рабочих местах вне нынешней многоступенчатой поверочной схемы, по новой, укороченной без ущерба точности и единству измерений.

Нами разрабатывались различные модели He–Ne/J₂-лазеров (0.6329 и 6119 μm), часть из них была доведена до серийного производства [7,8]. Одна из моделей излучает немодулированное излучение [17]. Модель, которую мы рассматриваем здесь, резко отличается по массе и габаритам блока электроники от предыдущих моделей, сохраняя

He-Ne/J₂-laser St.-Petersburg, RUSSIA
Prof. V.E. Privalov, tel/fax 7-812-555-7647
E-mail: VEP29@BSTU.SPB.SU



Рис. 1. Модели He-Ne/J₂-лазеров.

метрологические параметры на эталонном уровне. Для сравнения новая и предыдущая модели приведены на рис. 1. Объем блока электроники составил менее 2l, масса менее 3kg. Исследования этого лазера в течение 1998 г. позволяют утверждать, что он не уступает нашим предыдущим моделям по точностным характеристикам. В 1998 г. данная модель лазера экспонировалась на Ганноверской ярмарке.

В дальнейшем модель была усовершенствована. Функциональная схема лазера, из которой понятны принцип действия прибора и отдельные детали, приведена на рис. 2. На экране индикатора 19 видна группа пиков поглощения в иоде-127, по одному из которых осуществляется стабилизация частоты. Полная спектрограмма сканирования частоты лазера, соответствующая зоне генерации, приведена на рис. 3. Основное внимание сейчас мы уделяем шумовым характеристикам излучателя и электроники. Конструкция излучателя, в том числе выбор и расположение фотоприемника, позволяют не рассматривать вопрос о стабильности оси диаграммы направленности излучения для стабилизации частоты. При стыковке с измерительными устройствами этот вопрос может возникнуть. Однако мы более четверти века применяем наши He-Ne/J₂-лазеры и пока не сталкивались с этой проблемой ни в схемах оптического гетеродинамирования, ни при работе с интерферометрами.

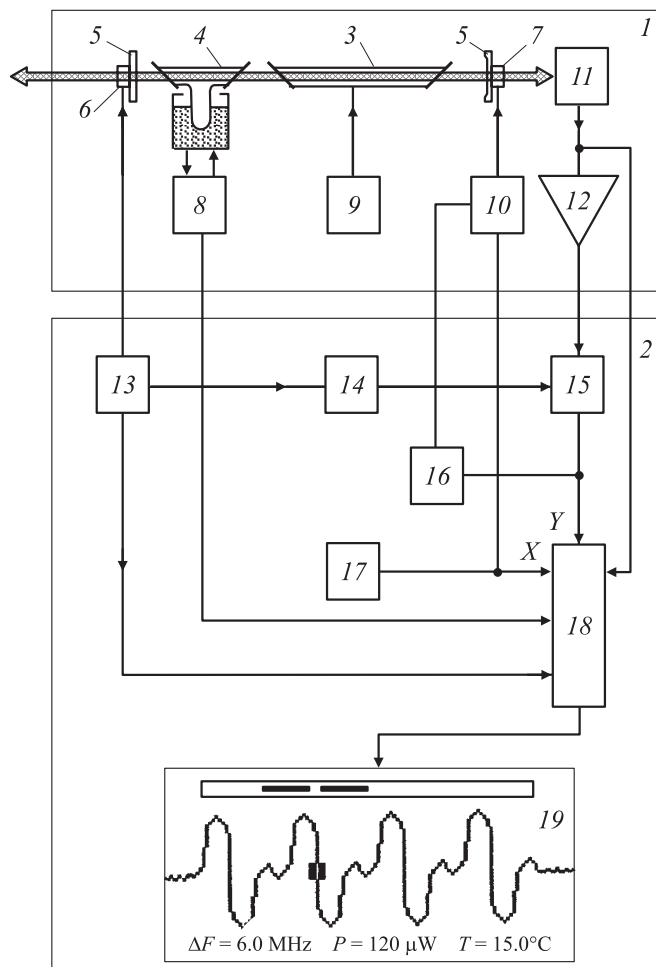


Рис. 2. Блок-схема He–Ne/J₂-лазера: 1 — излучатель, 2 — блок АПЧ, 3 — активный элемент, 4 — поглощающая ячейка, 5 — зеркала, 6 — пьезомодулятор, 7 — пьезокорректор, 8 — блок стабилизации температуры отрезка поглощающей ячейки, 9 — высоковольтный блок питания, 10 — УПТ, 11 — фотоприемник, 12 — селективный усилитель, 13 — генератор f , 14 — генератор $3f$, 15 — синхронный детектор, 16 — ПИ-регулятор, 17 — цифровой ГЛН, 18 — микропроцессор, 19 — индикатор.

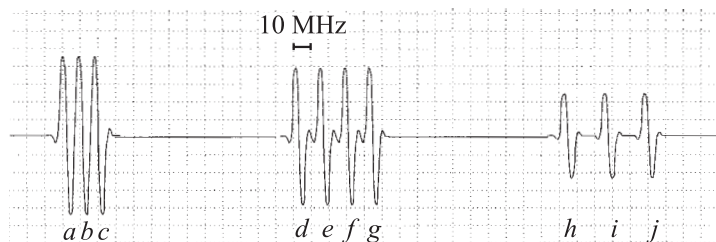


Рис. 3. Спектрограмма сканирования частоты лазера: $\lambda_a = 0.632990997 \mu\text{m}$;
 $\lambda_b = 0.632991009 \mu\text{m}$; $\lambda_c = 0.632991020 \mu\text{m}$; $\lambda_d = 0.632991177 \mu\text{m}$;
 $\lambda_e = 0.632991198 \mu\text{m}$; $\lambda_f = 0.632991213 \mu\text{m}$; $\lambda_g = 0.632991230 \mu\text{m}$;
 $\lambda_h = 0.632991369 \mu\text{m}$; $\lambda_i = 0.632991398 \mu\text{m}$; $\nu_j = 473612214.8 \text{ MHz}$;
 $\lambda_j = 0.632991427 \mu\text{m}$.

По-видимому, нестабильность оси диаграммы наших лазеров (порядка 2–3 угловых минут) меньше того уровня, на котором эта проблема возникает. При этом не забываем, что He–Ne/J₂-лазер — весьма чувствительный прибор и на его параметры влияет вибрация основания. Поэтому основание, на котором стоит этот лазер, играет существенную роль. Более 15 лет назад было показано (например, [18]), что модуляция тока разряда либо модуляция длины резонатора на частотах, близких или кратных частоте опорного генератора системы АПЧ (генератора f), приводит к сдвигам частоты излучения He–Ne/J₂-лазера и даже к срыву работы системы АПЧ. Поэтому вибрации основания, на котором стоит лазер, приводят к модуляции длины резонатора и снижению стабильности и воспроизводимости частоты излучения. Оценки показывают, что для получения предельно достижимой для этого лазера величины погрешности воспроизведения частоты (в двенадцатом знаке) необходима система, снижающая амплитуду вибраций в диапазоне от нескольких Нз до нескольких кНз примерно на 2 порядка.

Известно [19], что квадрат частоты собственных колебаний механической системы прямо пропорционален жесткости системы и обратно пропорционален ее массе. Обычно для борьбы с вибрациями установку делают массивной (центнеры или тонны) и устанавливают на упругих опорах либо подвешивают на упругих нитях. Таким образом пытаются вывести собственную частоту системы из спектра внешних вибраций. При этом, как ясно, стремятся снизить собственную частоту

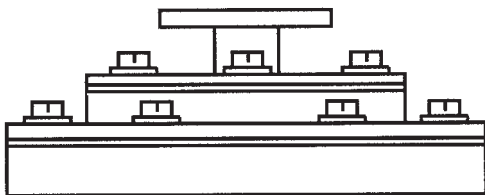


Рис. 4. Конструкция виброизолирующей опоры.

системы, так как сделать ее выше верхней границы спектра вибраций (10–20 kHz) не удастся из-за величины массы. Есть другой путь — создание амортизаторов с „нулевой“ жесткостью [20]. Они позволяют снизить собственную частоту до 1 Hz и менее при массе установки десятки kg. Нами разработан один из амортизаторов данного типа — вакуумная виброизолирующая опора [21].

Принцип вакуумного подвеса обеспечивает высокую эффективность ослабления зависимости жесткости упругих элементов конструкции от статической нагрузки. Жесткость опоры зависит только от конструкции упругих элементов вакуумного уплотнения и может быть сделана достаточно малой. Наиболее рациональным является размещение защищаемого объекта на платформе, опирающейся на 4 опоры. Опора (рис. 4) конструктивно выполнена в виде диска диаметром от 100 до 250 mm (массой от 2 до 5 kg) и имеет номинальную грузоподъемность от 80 до 500 kg соответственно. Высота опоры 110 mm. В центральной части опоры имеется шток с пяткой для установки под плиту. Количество опор в комплекте установки может быть увеличено до 8 и более в зависимости от необходимой статической нагрузки. При этом следует обеспечивать равномерность нагрузки на каждую опору с помощью дополнительных балансировочных грузов, что в схеме с 4 опорами выполняется весьма просто. Принцип действия подобных систем описан нами в работе [22].

В комплект виброзащиты входят распределитель с системой вакуумных шлангов, простой пост управления вакуумной системой, малогабаритный форвакуумный насос ЗНВР-3Д, а также механический фиксатор

нерабочего положения. Установка выходит на режим — „всплывает“ через 1 min после включения форвакуумного насоса. Повторное включение насоса требуется через несколько часов в зависимости от качества вакуумного уплотнения.

Частоты собственных колебаний в вертикальной и горизонтальной плоскостях виброзащитной установки грузоподъемностью 500 kg (4 опоры грузоподъемностью по 125 kg) были измерены посредством соответствующего импульсного возмущения. При этом частота собственных колебаний в вертикальной плоскости оказалась менее 0.81, а в горизонтальной плоскости — менее 2. В итоге данная система снижает примерно на 2 порядка амплитуду вибраций в диапазоне частот примерно от 4 Hz до 5 kHz и создает условия для достижения предельных метрологических характеристик He–Ne/J₂-лазера. Наш лазер использовался с данными виброизолирующими опорами для исследования метрологических характеристик промышленных лазеров ЛГН-302 [23] и ЛГН-303 [24], но в этих статьях мы не останавливались на особенностях лазера и не упоминали об опорах.

Список литературы

- [1] *Documents concerning the new definition of the meter* // Metrologia. 1984. V. 19. N 2. P. 163–177.
- [2] *Привалов В.Е.* Квантовая электроника и новое определение метра. Л., 1987. 32 с.
- [3] *Капралов В.П., Привалов В.Е.* // Опт. и спектр. 1983. Т. 55. № 6. С. 1101–1105.
- [4] *Chartier J.-M., Robertson L., Fredin-Pacard S.* // IEEE Transaction IM. 1991. V. 20. N 2. P. 181–183.
- [5] *Hu J., Ikonen E., Riski K.* // Metrologia. 1996. V. 33. P. 467–473.
- [6] *Багаев С.Н., Чеботаев В.П.* // УФН. 1986. Т. 148. № 1. С. 143–178.
- [7] *Привалов В.Е.* Газоразрядные лазеры в измерительных комплексах. Л., 1989. 260 с.
- [8] *Иванов В.А., Привалов В.Е.* Применение лазеров в приборах точной механики. СПб., 1993. 217 с.
- [9] *Brand U.* // Optics communication. 1993. V. 100. N 1–4. P. 361–373.
- [10] *Privalov V.E.* // Journ. Mosc. Phys. Soc. 1997. V. 7. P. 335–338.
- [11] *Ludvigsen* Dissertation. Espoo, 1994. 39 p.
- [12] *Privalov V.E., Savelyev S.K.* // Proc. SPIE, 1999. V. 3687. P. 2–5.
- [13] *Перспект ФИАН „Высококогерентный малогабаритный перестраиваемый лазер. Оптика лазеров“.* СПб., 1998.

- [14] *Rb-stabilized diode laser for length measurements*. Prospectus of PTB, Braunschweig-Berlin, 1998.
- [15] *Миронов А.В.* Автореф. на соис... канд. дис. ЛГУ, 1989. 16 с.
- [16] *Hu J., Ahola T., Ikonen E., Riski K.* // IEEE Transaction IM. 1997. V. 46. N 2. P. 186–190.
- [17] *Крылов П.С., Миронов А.В., Привалов В.Е.* // ПТЭ. 1989. № 4. С. 197–201.
- [18] *Крылов П.С., Привалов В.Е.* // Радиотехника и электроника. 1987. Т. 32. № 3. С. 587–595.
- [19] *Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э.* Теория колебаний. М., 1959. 915 с.
- [20] А. с. СССР № 1155803 // БИ. 1985. № 18.
- [21] *Патент России.* № 2066799 // БИ. 1996. № 26.
- [22] *Крылов П.С., Привалов В.Е.* // ПТЭ. 1998. № 6. С. 135–136.
- [23] *Капралов В.П., Привалов В.Е.* // Опт. и спектр. 1998. Т. 84. № 3. С. 518–520.
- [24] *Vlasov A.N., Privalov V.E., Krylov P.S.* // Proc. SPIE. 2002. V. 4680. P. 52–56.