

АБСОЛЮТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТ ЛАЗЕРОВ ИК ДИАПАЗОНА

Ю.С.Домнин, Н.Б.Кошелевский, В.М.Татаренков,
П.С.Шумяцкий

Достигнута точность 10^{13} абсолютных измерений частот длинноволновых лазеров, включая CO_2 -лазеры. В более коротковолновой области ИК диапазона (до 3,39 мкм) точность измерения $1 \cdot 10^{10}$. Впервые измерена частота CO_2/OsO_4 -лазера — 28 464 676 938,5 ± 1 кГц. Значительно уточнена частота $\text{He} - \text{Ne}/\text{CH}_4$ -лазера — 88 376 181 586 ± 10 кГц

Для решения проблемы абсолютных измерений лазерных частот в [1] нами предложено и по частям реализована следующая схема переноса эталонных частот от цезиевого стандарта в оптическую область спектра.

Цезиевый стандарт $\overset{1}{\text{HCN}}$ (337 мкм) $\overset{2}{\text{D}_2\text{O}}$ (84 мкм) $\overset{3}{\text{CO}_2/\text{OsO}_4}$ $\overset{4}{\text{CO}_2}$ (10,18 мкм) $\overset{5}{\text{He} - \text{Ne}/\text{CH}_4}$ (3,39 мкм)

Здесь указаны рабочие вещества лазеров и длины волн. Кроме лазеров в каждом звене схемы обязательно участвуют СВЧ источники сантиметрового или миллиметрового диапазонов. Преобразование частот осуществлялось специальными диодами на основе точечных контактов вольфрама с кремнием в первом звене и вольфрама с никелем (МОМ-диоды) в остальных.

В данной работе сообщается о значительном повышении точности всей системы в целом и о прецизионном измерении частоты CO_2/OsO_4 и $\text{He} - \text{Ne}/\text{CH}_4$ оптических стандартов. Эти достижения в существенной степени базируются на рациональной структуре выбранной системы измерений. Она выгодно отличается от разработанной в [2, 3]. Благодаря введению D_2O - и CO_2/OsO_4 -лазеров понижены порядки умножения, получены удовлетворительные отношения сигналов к шуму во всех звеньях (не менее 20 дБ в полосе 50 кГц), система содержит два перспективных оптических стандарта.

Стабилизация частоты субмиллиметровых лазеров осуществляется узкополосной системой фазовой синхронизации D_2O -лазера по эталону частоты. Впервые идея такой системы была выдвинута и реализована в работе [4] применительно к HCN -лазеру. При этом для эталонного сигнала эта система служит узкополосным следящим фильтром, подавляющим белые фазовые шумы эталона. На частоте D_2O -лазера необходимая полоса такого фильтра ~10 Гц. Медленный дрейф частоты D_2O -лазера обрабатывается практически полностью такой системой и не влияет на точность измерений при времени усреднения больше 10 сек. Практически система реализована следующим образом. По D_2O -лазеру последовательно синхронизируются HCN -лазер, клистрон 74 ГГц и клистрон 8,2 ГГц. Эталонный сигнал на частоте 8,2 ГГц сравнивается по фазе с излучением клистрона, и сигнал ошибки подается на управление частотой D_2O -лазера. В замкнутой системе все перечисленные генераторы приобретают строго определенные значения частот, в частности, часто-

та HCN-лазера равна 890760 МГц и D₂O-лазера — 3 557 147,5 МГц с точностью эталона частоты. С помощью самих HCN- и D₂O-лазеров и их гармоник впервые стало возможным измерение с точностью $\sim 10^{13}$ частот лазеров субмиллиметрового и дальнего инфракрасного диапазона, включая область генерации CO₂-лазеров. Используя восьмую гармонику D₂O-лазера, мы можем теперь определить частоту CO₂/OsO₄ стандарта с такой же точностью.

CO₂/OsO₄-лазер с внешней поглощающей ячейкой настраивался на самый интенсивный молекулярный резонанс OsO₄, попадающий в область генерации лазера на линии P(14) [5]. Давление паров OsO₄ ячейки было $\sim 2,5$ Па. Полная ширина резонанса ~ 200 кГц. Амплитуда его была 2% от отраженной мощности. По оценкам стабильность лазера составляла $3 \cdot 10^{-11}$ в течение суток. Измерения частоты CO₂/OsO₄-лазера проводились в течение двух недель при возможно более постоянных параметрах лазера и системы стабилизации. Наибольшие затруднения были связаны с контролем сдвигов частоты, обусловленных сравнительно большим уровнем паразитной амплитудной модуляции. Поэтому в начале каждой серии измерений тщательно компенсировался этот сдвиг, а в конце — регистрировался возникающий разбаланс для внесения поправок. В результате получено следующее значение частоты CO₂/OsO₄-лазера — 28 464 676 938,5 ± 1 кГц, погрешность практически полностью определялась нестабильностью лазера.

По известной теперь частоте CO₂/OsO₄-лазера с помощью 4 и 5 звеньев умножительной цепи измерялась частота He — Ne/CH₄-лазера. При этом частота CO₂-лазера на линии R(30) синхронизировалась особой системой фазовой автоподстройки по CO₂/OsO₄-лазеру. Непосредственно измерялась на анализаторе спектра частота сигнала биений 3-й гармоники CO₂-лазера, клистрона 48 ГГц и мощного (100 мВт) He — Ne-лазера, синхронизированного по фазе с частотой He — Ne/CH₄ стандарта.

He — Ne/CH₄-лазер имел следующие основные характеристики. Это переносной прибор с отпаянными усилительной и поглощающей трубками. Молекулярный резонанс имеет полную ширину ~ 300 кГц и составляет 3% выходной мощности. Воспроизводимость частоты лазера от включения к включению лучше $1 \cdot 10^{-11}$, нестабильность за несколько часов 10^{-12} .

В результате обработки нескольких серий измерений получено следующее значение частоты He — Ne/CH₄-лазера — 88 376 181 586 ± 10 кГц. Оцененная нами погрешность 10 кГц обусловлена в основном нестабильностью CO₂/OsO₄-лазера. В этом эксперименте дополнительное дестабилизирующее влияние оказывали на CO₂/OsO₄ обратные отражения от MOM-диода. Этот эффект ослаблялся ромбом Френеля и небольшой разъюстировкой. Но полностью исключить его не удалось и он вносил в частоту CO₂/OsO₄-лазера неопределенность порядка 3 кГц. Отметим, что полученное значение лежит в пределах погрешности ранее выполненных измерений: 88 376 181 627 ± 50 кГц [2] и 88 376 181 608 ± 43 кГц [3]. Этот факт заслуживает особого внимания потому, что значение частоты перехода метана использовано при точном определении скорости света [6]. Наш результат, полученный с помощью существенно другой схемы и опирающийся на значительно более стабильные промежуточные ла-

ры, увеличивает надежность и достоверность принятого значения скорости света.

Созданный комплекс допускает повышение точности измерений до уровня эталона частоты во всей цепи. Для этого необходимо создать CO_2/OsO_4 -лазер с достаточно высокой ($\sim 10^{-13}$) долговременной стабильностью частоты. Согласно [5] — это вполне реальная задача.

В заключение мы хотим выразить благодарность В.К.Коробову, В.Г.Ильину и С.Б.Пушкину за постоянное внимание к работе и активное обсуждение ее приложений; В.С.Летохову, О.Н.Компанцу, А.Р.Кукуджанову за создание и внедрение CO_2/OsO_4 -лазера; В.В.Никитину, М.А.Губину, А.Д.Тюрикову за предоставление систем стабилизации частоты лазеров; В.С.Соловьеву, А.С.Клейману, И.В.Томашко за предоставление СВЧ источников.

Институт спектроскопии
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
12 июля 1979 г.

Литература

- [1] Ю.С.Домнин, В.М.Татаренков, П.С.Шумяцкий. Квантовая электроника, **2**, 2612, 1975; **4**, 1103, 1977.
 - [2] K.M.Evenson, G.W.Day, J.S.Wells, L.O.Mullen. Appl. Phys. Lett., **20**, 133, 1972.
 - [3] T.G.Blaney, G.J.Edwards, B.W.Jolliffe, D.J.E.Knight, P.T.Woods. J. Phys. D: Appl. Phys., **9**, 1323, 1976.
 - [4] Ю.С.Домнин, В.М.Татаренков, П.С.Шумяцкий. Квантовая электроника, **4**, 1158, 1977.
 - [5] О.Н.Компанец, А.Р.Кукуджанов, Е.А.Михайлов. Квантовая электроника, **4**, 2016, 1977.
 - [6] K.M.Evenson, J.S.Wells, F.R.Petersen, B.L.Danielsen, G.B.Day, R.L.Barger, J.L.Hall. Phys. Rev. Lett., **29**, 1346, 1972.
-